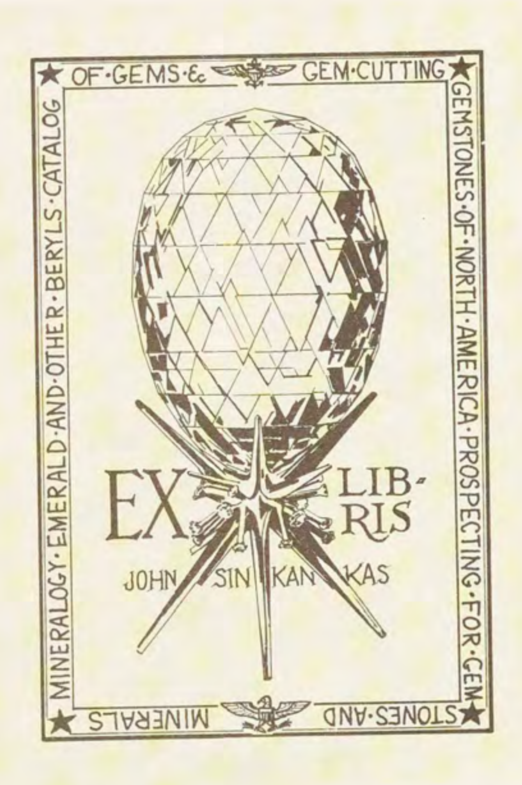
W. J. SCHMIDT

Bau u. Bildung d.
Perlmuttermasse



OF·GEMS·&c
GEM·CUTTING
GEMSTONES·OF·NORTH·AMERICA·PROSPECTING·FOR·GEM
STONES·AND
MINERALS
MINERALOGY·EMERALD·AND·OTHER·BERYLS·CATALOG
EX LIB-RIS
JOHN SIN KAN KAS





Nicht einzeln im Buchhandel. Überreicht vom Verfasser.

Abdruck aus den
Zoologischen Jahrbüchern. Bd. 45. Abt. f. Anatomie. 1923.
Begründet von J. W. Spengel. Herausgegeben von S. Becher.
Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Bau und Bildung der Perlmuttermasse.

Von

Prof. Dr. **W. J. Schmidt** in Bonn (Zool. Institut).

Mit Tafel 1—5 und 21 Abbildungen im Text.

Inhaltsübersicht.



Einleitung.

Mehr und mehr hat sich die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß bei der Entstehung der feineren Strukturen in den Molluskenschalen Kristallisationsvorgänge des kohlensauren Kalkes eine wesentliche Rolle spielen. Nachdem der Mantel, der schalentragende Teil des Tieres, das conchin- und kalkhaltige Sekret abgeschieden hat, aus dem sich das Gehäuse formt, besitzt der lebende Organismus als solcher wohl kaum mehr einen Einfluß auf die Ausbildung der manchmal recht verwickelten Strukturen.

Diese Tatsache ist über den Bereich der Mollusken hinaus von Bedeutung, wenn man erwägt, daß die Gehäuse der Weichtiere vergleichend histologisch als Cuticularbildungen gelten, jenen weit verbreiteten Differenzierungen auf der freien Oberfläche von

Epithelien eingerechnet werden, die als Exoskelet oder mindestens zur Sicherung der von ihnen bedeckten Flächen gegen mechanische und chemische Schädigungen dienen. Nun bieten allerdings die Schalen der Mollusken die Besonderheit, daß sie vielfach im fertigen Zustand ihrer Matrix, dem Mantelepithel, lose aufliegen, nicht wie sonst, etwa beim Chitinpanzer eines Arthropoden, fest mit ihr verbunden sind. Aber diese Eigentümlichkeit ist durch fließende Übergänge mit jenem allgemeiner verbreiteten Verhalten verknüpft und findet ihre Erklärung in der besonderen Art des Schalenwachstums.

So sehen wir bei den Muscheln an den Muskelansätzen den Mantel sehr fest an der Schale haften. Das Periostracum, der äußere, nur aus organischer Substanz (Conchin) bestehende Überzug vieler Muschelschalen hängt an seiner Bildungsstätte (einer Epithelfalte am freien Rand des Mantels) innig mit den Matrixzellen zusammen; den gelegentlich im Inneren der kalkigen Schalensubstanzen (Prismen- und Perlmutterlage) auftretenden Conchinlamellen, die nach Struktur und im wesentlichen auch nach der chemischen Zusammensetzung mit dem Periostracum übereinstimmen, fehlt dagegen eine so enge Beziehung zur Matrix während ihrer Entstehung. Solche Verschiedenheiten in der Beziehung zwischen Cuticula und Matrix sind lehrreich zur Beurteilung der Frage, ob Cuticularbildung durch Ausscheidung von seiten der Bildungszellen oder durch Umwandlung ihres Plasmas erfolgt, ein Streit, der nur bei streng morphologischer Betrachtung einige Berechtigung besitzt. Denn physiologisch muß jede vom Plasma chemisch verschiedene Substanz — und dieses Merkmal läßt sich bei der Begriffsbestimmung der Cuticula nicht entbehren — durch Umwandlung aus ihm hervorgehen, mag sie nun bereits im Inneren der Zelle oder erst auf ihrer Oberfläche bzw. außerhalb derselben strukturelle Differenzierung erfahren.

Die Ursache für den lockeren Zusammenhang zwischen Matrix und Cuticula bei den Mollusken — insbesondere den Muschelschalen, ist darin gegeben, daß das Flächenwachstum der Schale nur an ihrem Rande, appositionell, erfolgt, die Vergrößerung der Matrix dagegen intussusceptionell, durch Einschaltung neuer (durch Teilung entstandener) Zellen im Mantelepithel. Daher ist es unmöglich, daß ein bestimmter Cuticularbezirk dauernd über den gleichen Matrixzellen liegen bleibt; und so wird verständlich, daß der Mantel größtenteils der Schale lose anlagert, und nur an

jenen Stellen eine festere Beziehung zwischen Weichkörper und Schale eintritt, wo sie physiologisch unbedingt erforderlich ist, wie an den Muskelansätzen. Bei den Arthropoden vollzieht sich bekanntlich das Wachstum kurz nach der Häutung, zu einer Zeit, da die neue Cuticula noch dehnbar ist (bei verkalkenden Cuticulen [Krebse] findet die Imprägnierung mit Kalksalzen erst nach der Dehnung statt). Die Flächenvergrößerung der Cuticula geschieht also hier in ihrer ganzen Ausdehnung. Da bei den mächtigen verkalkten Cuticularbildungen der Mollusken aus leicht ersichtlichen Momenten (Materialersparnis, bessere Sicherung der Tiere) eine Häutung fehlt, mußte sich das Flächenwachstum der Schale auf ihren Rand beschränken und damit zu einer Lockerung zwischen Matrix und Cuticula führen.

Sieht man so in den Schalen der Muscheln und anderen Mollusken eine durch die besonderen Wachstumsverhältnisse und die Verkalkung eigentümlich geartete Cuticularbildung, so wird man nicht umhin können, auch bei den anderen, dauernd mit ihrer Matrix verknüpften Cuticulen sich die Frage vorzulegen: Was von ihren Bildungsvorgängen vollzieht sich unter dem Einfluß des lebenden Organismus, und was ist jenen von ihm unabhängigen Vorgängen zu vergleichen, welche die Strukturentstehung der Molluskenschalen überwiegend beherrschen? Ja, wenn man sich einmal über die gewiß berechtigte Grenze hinwegsetzt, welche die Histologie zwischen Epithelien und Bindegewebe und damit zwischen Cuticular- und Intercellularsubstanzen zieht, und, den Blick aufs allgemeinste gerichtet, jene als Zellmassen wertet, die einseitig (flächenhaft), diese die allseitig nicht-celluläre, oft reich strukturierte Substanzen abgeben, dann erhellt, daß auch hier die Frage sich herandrängt nach dem „vitalen“ und nicht vitalen Anteil dieses Geschehens.

Solche Fragestellung geht dann allerdings von einem Standpunkt aus, der nahezu gegensätzlich ist zu der in neuerer Zeit viel vertretenen Auffassung[1]), die Intercellularsubstanzen seien neben den Zellen Träger des Lebens. Ohne in den Streit über Leben und Nichtleben der Intercellularsubstanzen näher einzutreten, sei doch bemerkt, daß weder ihre verwickelten Strukturen noch deren Entstehen oder Weiterwachsen außerhalb

1) Vgl. z. B. G. Schlater, Die Cellularpathologie, Jena 1911 (in: Samml. anat. physiol. Vortr.), p. 15—18.

der Zellen (z. B. bei kollagenen Fibrillen) als Kriterium des Lebens gelten können. Die Begriffe Leben und lebendig sind vom Organismus als Ganzem abgeleitet und es geht nicht an, daß sie auf einzelne Teile desselben übertragen werden, an denen selbständige Lebensäußerungen nicht nachgewiesen sind. Überall, wo an Intercellularsubstanzen wirklich vitale Erscheinungen, z. B. regulative Reaktion auf äußere Einflüsse (etwa Sehnenverkürzung im Anschluß an operative Verkürzung des Knochens, an welchem die Sehne ansitzt) sich abspielen, da ist nicht auszuschließen, daß die in ihnen enthaltenen Zellen dafür verantwortlich zu machen sind. Solange nicht der Beweis des Gegenteils erbracht wird, scheint mir kein Grund vorzuliegen, die bisherigen Anschauungen von den Zellen als Trägern des Lebens so radikal umzugestalten.

Soviel über die Bedeutung, welche die Molluskenschalen als Cuticularbildungen beanspruchen können, deren Struktur wesentlich auf Kristallisationsvorgänge zurückzuführen ist. Ähnliche Überlegungen über die Wertung von Cuticular- und Intercellularsubstanzen sind von anderen Ausgangspunkten verschiedentlich vorgebracht worden; von der Basis aus, welche die Molluskenschale für solche Betrachtungen abgibt, hat vor allem Biedermann (1914 und früher) derartige Gedanken entwickelt. —

Die Schalen der Muscheln — auf sie wollen wir uns fürderhin beschränken — sind keineswegs innerhalb dieser Gruppe gleichartig aufgebaut. Die bekannte Dreigliederung der Schale in das äußere Periostracum, die mittlere Prismenlage und die innere Perlmutterlage trifft für die Unioniden, Aviculiden, Mytiliden und einige andere Familien zu, kann aber nicht als ein allgemeines Schema gelten.

Eine erste Sonderung der verschiedenen überhaupt vorkommenden Schalenschichten erfolgt danach, ob sie nur aus organischer Masse (Conchin oder Conchyolin) bestehen — Periostracum — oder daneben Kalk enthalten. Im letzten Falle tritt das Conchin an Masse ganz erheblich zurück und spielt nur die Rolle eines Bindemittels, das die kalkigen Bestandteile verkittet. Diese sind stets von kristallinischer Beschaffenheit und die Art derselben gibt gute Anhaltspunkte für eine Einteilung der verkalkten Schalenlagen.

Mehrfach wiederholte, zuletzt von Bütschli (1908) ausführlich zusammengestellte, nachgeprüfte und erweiterte Untersuchungen

haben dargetan, daß der Kalk in den Muschelschalen teils als Calcit, teils als Aragonit[1]) erscheint, den beiden bekannten Modifikationen des kohlensauren Kalkes, die sich durch Kristallsystem und entsprechendes optisches Verhalten, durch Härte, spezifisches Gewicht, Spaltbarkeit, schließlich auch durch chemische Reaktionen (z. B. MEIGEN'sche Cobaltnitratreaktion) voneinander verschieden erweisen.

Unter eingehender Berücksichtigung der kristallinischen Bausteine lassen sich die verkalkten Schalenlagen der Muscheln in 5 Gruppen einteilen. I. Die Perlmuttersubstanz, die aus einem geordneten Aggregat von tafeligen Aragonitkristallen[2]) besteht, wie in der vorliegenden Abhandlung im einzelnen dargelegt wird. Sie bildet die innere Schalenlage bei Nuculiden, Trigoniiden, Anatiniden, Unioniden, Aviculiden, Mytiliden [kommt auch manchen Schnecken (z. B. *Turbo*, *Trochus*), ferner einigen Cephalopoden (*Nautilus*) zu]. Äußerlich ist sie oft, aber nicht immer, durch Perlmutterglanz und -farbe gekennzeichnet. Doch sei schon hier betont, daß das Aussehen kein entscheidendes oder gar charakteristisches Merkmal im Sinne dieser Einteilung abgeben kann. Denn das Auftreten von „Perlmutterglanz und -farbe" setzt gewisse strukturelle Bedingungen voraus, die im einzelnen in sehr verschiedener Form und vor allem von ganz verschiedenen Stoffen erfüllt werden können; das lehrt schon der Sprachgebrauch („Perlmutterfalter", Perlmutterglanz bei Mineralien usw.).

So sehen wir perlmutterartiges Aussehen gelegentlich auch bei der II. Gruppe, dem Calcitostracum — wie ich es kurz nennen möchte — der Austern, Pectiniden und ihren Verwandten (z. B. *Placuna*, *Anomia*, *Amussium*, *Spondylus*) erscheinen, das gewöhnlich allerdings matt oder glänzend weiß aussieht und den allergrößten Teil der Schale (Innenlage) bei diesen Formen liefert. Daß es sich hier um Calcit handelt, ist durch verschiedene Untersucher (vgl. bei BÜTSCHLI 1908 oder bei BIEDERMANN 1914) sichergestellt.

1) Nach neuesten Untersuchungen von NEUMANN (s. S. 9) ist es nicht ausgeschlossen, daß in der Perlmutter von *Haliotis* eine andere Modifikation des kohlensauren Kalks vorliegt, s. S. 93.

2) Daß Perlmutter den Charakter von Aragonit besitzt, ist durch die MEIGEN'sche Reaktion wiederholt zuletzt von KARNY (1913) und NEUMANN festgestellt worden. Auch bei mir ist die Reaktion stets in diesem Sinne ausgefallen.

Doch ist der genauere Aufbau dieser Schalen bisher nicht hinreichend untersucht. Einige Stichproben lassen es mir aber als äußerst wahrscheinlich gelten, daß auch hier der Kalk in Form bestimmter Kristalle (sehr schlanken Plättchen mit charakteristischen optischen Eigenschaften) vorliegt.[1])

An III. Stelle wäre zu nennen die Porzellanschicht, welche bei den meisten marinen Muscheln als Innenlage sich findet. Ihr Bauelement sind nadel- oder faserartige Aragonitkristalle, oft gruppenweise zu Plättchen vereint, die ihrerseits wieder untereinander gesetzmäßige Anordnung zeigen können [aus ähnlichen Bestandteilen setzen sich die Schalen der marinen Gastropoden zusammen]. (Einzelheiten s. bei Biedermann 1901 u. 1914.) Wie der Name besagt, ist diese Schicht von porzellanähnlicher Beschaffenheit; doch muß auch hier betont werden, daß ihr Aussehen allein zum sicheren Erkennen nicht ausreicht.

Die IV. u. V. Gruppe wird von der wohlbekannten Prismenschicht gebildet, die trotz ihrer äußerlich ziemlich einheitlichen Erscheinung bei genauerer Untersuchung in Calcitprismen (Aviculiden, Mytiliden) zerfällt, deren jedes einem Kalkspatindividuum entspricht, und in Aragonitprismen (Unioniden)[2]), die keilförmige Ausschnitte aus Sphärokristallen darstellen.

Die Prismenschicht kann als die bestbekannte aller Schalenlagen gelten. Bildung und Struktur sind ebenso eingehend erforscht wie ihr kristallographisches Verhalten, und gerade die auf diesem Teilgebiet gewonnenen Tatsachen rechtfertigen die allgemeine Beurteilung von Bau und Wesen der Molluskenschalen, die wir im vorhergehenden gegeben haben. Anders liegen die Dinge aber bei den übrigen kalkigen Schalenlagen. Insbesondere sind trotz vieler Bemühungen, die eine umfangreiche Literatur darstellen, Struktur und Entwicklung der Perlmutterschicht bisher nicht befriedigend geklärt. Bei dem Aufbau dieser Lage aus sehr kleinen Elementen ist die rein morphologische Untersuchung ganz erheblich schwieriger, und ein volles Verständnis der Verhältnisse läßt sich nur gewinnen, wenn optische und strukturelle Untersuchung Hand in Hand gehen. Daran hat es aber insofern

1) Vgl. hierüber in meinem demnächst erscheinenden Buche: Die Bausteine des Tierkörpers in polarisiertem Lichte, Bonn.

2) Vgl. hierüber bei Biedermann (1914), ferner W. J. Schmidt, Über den kristallographischen Charakter der Prismen in den Muschelschalen, in: Ztschr. allg. Physiol., Vol. 19 (1921), p. 191.

gefehlt, als die meisten Untersucher vom Polarisationsmikroskop keinen oder nur sehr bescheidenen Gebrauch gemacht haben.

In seiner schon mehrfach genannten Zusammenfassung kommt Biedermann (1914) zum Schluß: „Nach allem Vorgebrachten sieht man leicht, daß die Struktur der Perlmutterlage noch in vielen Punkten der Aufklärung bedarf“ (p. 682 a. a. O.). Und an einer anderen Stelle heißt es von ihr: „Die optischen Eigenschaften bewiesen, daß sich hier ebenso wie in der Prismenschicht der Kalk (als Aragonit) in kristallinischer Form ausscheidet, doch sind die Einzelheiten gerade in bezug auf diesen Punkt noch nicht hinlänglich geklärt“ (p. 716) und schließlich: „Einer merkwürdigen Unsicherheit begegnet man in der Literatur bezüglich der optischen Eigenschaften der Perlmuttersubstanz, obwohl dieselbe verhältnismäßig oft untersucht wurde“ (p. 696).

Unter solchen Umständen erschien es mir als eine dankenswerte Aufgabe, Bau und Bildung der Perlmuttersubstanz erneut einer genauen Prüfung zu unterziehen, insbesondere den kristallinischen Elementarteilen nachzuspüren und die Art ihrer Entstehung und ihres Zusammentretens aufzuklären.

Was bisher davon zutage gefördert ist, soll den einzelnen Abschnitten vorausgeschickt werden. Hier sei nur allgemein bemerkt, daß nicht wenige richtige Beobachtungen über den Bau der Perlmuttersubstanz in der Literatur zerstreut vorliegen. Aber teils wurden wichtige Befunde nur als gelegentliche Feststellung mitgeteilt, ohne daß ihre allgemeine Bedeutung erkannt worden wäre, teils aber fanden wertvolle Äußerungen früherer Forscher bei den späteren nicht den rechten Widerhall, weil die betreffenden Arbeiten hinsichtlich der Schalenbildung im allgemeinen grundsätzlich verkehrte Anschauungen vertraten. Es wird mir eine Pflicht der historischen Gerechtigkeit sein, an gegebener Stelle auf solche Forscher und ihre Befunde nachdrücklichst hinzuweisen.

Nachdem ich bereits die wichtigsten Ergebnisse meiner Untersuchungen in der naturw. Abt. der Niederrhein. Ges. für Natur- und Heilkunde vorgetragen (Sitzung vom 7. Juni 1920) und eine zusammenfassende Mitteilung im Biologischen Zentralblatt (Ergebnisse einer Untersuchung über Bau und Bildung der Perlmuttermasse) in Druck gegeben hatte, erfuhr ich durch Herrn Geheimrat Korschelt in Marburg, daß dort unter Leitung des verstorbenen Physikers Richarz eine Dissertation über die optischen Eigenschaften der Perlmutter ausgeführt sei. Ihr Verfasser, Herr Dr. Paul Neumann, hatte die Liebenswürdigkeit, mir das Manuskript seiner Ab-

handlung, betitelt „Über die optischen Erscheinungen der Perlmutter“ vor der Drucklegung zur Durchsicht anzuvertrauen (Ende Dezember 1920 — wie auch ich ihm meine zusammenfassende Mitteilung zukommen ließ) und zu gestatten, daß ich auf ihren Inhalt in der vorliegenden Arbeit Bezug nehme. Obwohl das Ziel der NEUMANN'schen Dissertation die Erklärung der Farben- und Polarisationserscheinungen der Perlmutter war (welch erste ich völlig außer acht gelassen habe), war doch für die Lösung dieser Aufgabe eine genaue Kenntnis der Perlmutter s t r u k t u r notwendig. Auf diesem Gebiet haben nun die völlig unabhängig von den meinigen vorgenommenen Untersuchungen NEUMANN's manche Ergebnisse zutage gefördert, die eine erfreuliche Übereinstimmung mit den hier niedergelegten aufweisen. Obgleich mir die noch nicht veröffentlichten Untersuchungen NEUMANN's erst zugänglich wurden, als meine Beobachtungen abgeschlossen und der größte Teil dieser Arbeit in Reinschrift vorlag, habe ich sie noch nachträglich in die historischen Abschnitte aufgenommen, auch hier und da im übrigen Text auf sie Bezug genommen.

Untersuchungsmaterial.

Um meine Befunde auf eine möglichst breite Grundlage zu stellen, habe ich Perlmutter von allen Gruppen der Muscheln geprüft, bei denen sie vorkommt, den N u c u l i d e n, T r i g o n i i d e n, U n i o n i d e n, A n a t i n i d e n, M y t i l i d e n und A v i c u l i d e n, und bin überall auf die gleichen Grundzüge des Baues und der Entwicklung gestoßen. Wo ich also kurz von Perlmutter spreche, gilt das für Formen aller genannten Gruppen. Nicht ohne Absicht habe ich daher zu den Abbildungen bald Arten dieser, bald jener Gruppen gewählt, obwohl es mir ein leichtes gewesen wäre, alle Strukturverhältnisse an wenigen Arten zur Darstellung zu bringen. Allerdings sind nicht alle Formen gleich günstig für das Studium der Perlmuttermasse, obgleich es keine gibt, an der nicht alle wesentlichen Züge ihres Aufbaues ohne sonderliche Mühe erkannt werden könnten. Aber z. B. ist *Unio* durch die beträchtliche Dicke der Perlmutterblättchen, *Meleagrina*, *Margaritana* und *Pinna* durch die schöne Ausbildung der Kristalle auf der wachsenden Perlmutterfläche und die letztere auch durch die Deutlichkeit der Reihenstreifung vorteilhaft ausgezeichnet.

Im folgenden gebe ich ein systematisches Verzeichnis nur der von mir an m i k r o s k o p i s c h e n P r ä p a r a t e n (im durchfallenden Lichte) untersuchten Arten; bei vielen anderen aber prüfte ich die Innenfläche der Schalen im ganzen mittels des Opakilluminators, worauf noch später eingegangen wird.

Verzeichnis des Untersuchungsmaterials.

Nuculiden.
Nucula nucleus Lam.

Trigoniiden.
Trigonia pectinata Lam.

Unioniden.
Unio pictorum L.
Anodonta cellensis Schröt.
Anodonta anserina Spix.
Margaritana margaritifera Schum.
Barbala plicatula Sol.

Anatiniden.
Anatina lanterna Lam.
Lyonsia nitida Gld.
Pandora trilineata Sag.

Aviculiden.
Meleagrina margaritifera Lam.
Crenatula undata Jon.
Pinna nobilis L.
„ *inflata* Ch.
„ *seminuda* Lam.

Mytiliden.
Mytilus edulis Lam.
„ *smaragdinus* Chemn.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, allen denen herzlich zu danken, die durch Bereitstellung oder Überlassn von Untersuchungsmaterial die vorliegende Arbeit gefördert haben, von den Bonner Fachgenossen den Herren Professoren Hesse, Strubell und Voigt, ferner Herrn Geheimrat Korschelt in Marburg und Herrn Privatdozenten Dr. Alverdes in Halle. Auch den optischen Werken von E. Leitz in Wetzlar spreche ich meinen aufrichtigen Dank aus für die Anfertigung von Photogrammen nach einer Anzahl meiner Präparate; sie sind zum Teil als Textabbildungen zur Verwendung gekommen.

Untersuchungsverfahren.

Meine Untersuchungen nahmen ihren Ausgang von der Prüfung der natürlichen Innenfläche der Schale — an welcher sich das Wachstum der Perlmuttersubstanz vollzieht — in auffallendem und durchfallendem Licht. Zur Beobachtung der Innenfläche bei auffallendem Licht mittels schwacher Vergrößerung diente mir ein Greenough'sches Binokularmikroskop oder das monokulare „Hautmikroskop“, das die Firma E. Leitz in Wetzlar seit einiger Zeit

liefert, bei dem das Sehfeld durch ein kleines, mit Beleuchtungslinse versehenes Glühlämpchen erhellt wird. Für stärkere Vergrößerungen gebrauchte ich den Vertikalilluminator (der gleichen Firma), der bekanntlich opake Objekte bei beliebiger Vergrößerung zu betrachten gestattet, indem durch eine über dem Objektiv befindliche Spiegeleinrichtung Licht durch das Objektiv hindurch aufs Präparat geworfen und, von hier reflektiert, zur Abbildung benutzt wird.[1]) So konnten ganze Schalen oder Stücke von ihnen ohne jede Vorbearbeitung auf die Beschaffenheit ihrer Innenfläche geprüft werden. Vor allem habe ich dieses einfache Verfahren angewandt für die Auswahl von Stücken oder Stellen aus einem größeren Material, zu eingehenderer Untersuchung. Hin und wieder überstrich ich die Innenfläche der Schale mit einem harten Bleistift, um das zartere Relief dadurch deutlicher zum Hervortreten zu bringen, daß Graphitteilchen an vorspringenden Kanten hängen blieben. Diese Bleistiftmethode ergab bisweilen sehr hübsche Bilder von den gröberen Verhältnissen der Schaleninnenfläche, eignete sich aber nur für schwache Vergrößerungen (Binokular, Hautmikroskop).

Um die Innenfläche im durchfallendem Licht — und dann gewöhnlich unter stärkeren Objektiven — beobachten zu können, wurde die Schale von der Außenseite her abgeschliffen, bis nur eine dünne durchsichtige Lamelle übrig blieb, mit anderen Worten, ich stellte einen Dünnschliff her, dessen eine Fläche die unveränderte Schaleninnenseite war, ein auch von früheren Autoren angewandtes Verfahren. Damit deren Relief möglichst deutlich erscheint, empfiehlt es sich, solche Schliffe nicht nur in Wasser oder gar Balsam, sondern auch in Luft zu untersuchen, dabei aber den Schliff mit seiner Unterseite durch Balsam auf den Objektträger festzukitten und so hier das Auftreten von störenden Reflexen zu vermeiden. Nur beim Gebrauch von Immersionen ist es angebracht, derartige Schliffe in Balsam einzutragen.

Auch sonst wurden möglichst dünne, in verschiedener Richtung durch die Perlmuttermasse gelegte Schliffe im durchfallenden Licht untersucht. Zur Bearbeitung der mit der Laubsäge ausgeschnittenen und dann in üblicher Weise mit Balsam einem Objektträger aufgeklebten Plättchen bediente ich mich zunächst gut

1) In betreff der Handhabung dieses hauptsächlich in der Metallographie gebrauchten Instrumentes verweise ich auf meine in Ztschr. wiss. Mikrosk., Vol. 37, 1920 erschienene Abhandlung: „Über den Gebrauch des Opakilluminators zur Untersuchung tierischer Hartsubstanzen.“

gehärteter Feilen, die schneller fördern, und erst dann eines sehr feinen Schleifsteines, wenn das Plättchen bereits eine geringe Dicke erreicht hatte. Das Anfeuchten der Schliffe beim Schleifen geschah anfangs mit Wasser, zuletzt mit Xylol. Die Schliffe wurden in Wasser, Glyzeringelatine und Balsam eingebettet, Flachschliffe oft auch lufttrocken und dann, wie vorher gesagt, aufgekittet und zwar sowohl im gewöhnlichen als auch polarisierten Licht (orthoskopisch und konoskopisch) häufig auch nach Ätzung mit Salzsäure, Salpetersäure oder Ameisensäure untersucht. Gelegentlich kam auch Dunkelfeldbeleuchtung (Paraboloidkondensor von Zeiss) mit Vorteil für die Schliffe zur Anwendung.

Entkalkung der Perlmuttermasse habe ich meist an Schliffen vorgenommen, indem ein kleines Tröpfchen der Entkalkungsflüssigkeit (offizinelle Salpetersäure oder aber Salzsäure, in einem Gemisch von 5 Raumteilen offizineller Säure + 100 Teile 50% Alkohol) dem unter Deckglas in Wasser befindlichen Schliff zugesetzt wurde. Trotz ziemlich lebhafter Kohlensäureblasenentwicklung erfolgt die Entkalkung schonend, weil nur an ganz bestimmten Stellen (Sprüngen, Rissen, Kanten u. dgl. m.) Gasblasen auftreten, die von jedem einzelnen Aragonitkristall bei der Lösung entstehende Kohlensäure aber zunächst völlig von der umgebenden Flüssigkeit absorbiert wird und nach deren Sättigung an den oben genannten Stellen in Bläschenform erscheint. Bei Entkalkung größerer Schalenstücke, aus denen später Schnitte angefertigt werden sollen, treten aber wohl immer innerhalb dieser Stücke Gasblasen auf, die zur Zerreißung der feinen Conchinlamellen führen. Die Schliffentkalkung bietet auch den Vorteil, daß man die Auflösung des Kalkes unmittelbar verfolgen und am gleichen Stück Struktur und optisches Verhalten der kalkhaltigen und -freien Teile vergleichen kann. Ein Nachteil dagegen ist die Schwierigkeit, teilweise oder ganz entkalkte Schliffe gut in Balsam überzuführen; denn fast stets leidet das feine Conchingerüst bei der Entwässerung. Daher habe ich ganz oder teilweise ihres Kalkes beraubte Schliffe meist in Wasser oder nach Zusatz von etwas Glyzerin zu diesem untersucht. Färbung der Conchinmassen (mit Wasserblau), zeigten unter solchen Umständen nicht mehr als auch ohne sie zu erkennen war.

Versuche, den Kalk an Schliffen mit 1% wässeriger Hämatoxylinlösung zu bläuen, gaben kein für starke Vergrößerungen brauchbares Ergebnis.

Von großem Vorteil war mir schließlich die auch von anderen

Autoren erprobte Mazeration von Schalenstücken in Kalilauge, die das Conchin löst und dadurch die kalkigen Elementarteile zum Auseinanderfallen bringt. Eine Lauge, die 10 g festes Ätzkali auf 100 ccm Wasser enthielt und entweder bei Zimmertemperatur oder im Thermostaten bei rund 60° C zur Anwendung kam, gab nach 1—2 Tagen meist das gewünschte Ergebnis. Die mazerierten Massen wurden entweder in der Lauge untersucht oder, in Wasser und Alkohol ausgewaschen, getrocknet und so in Balsam überführt.

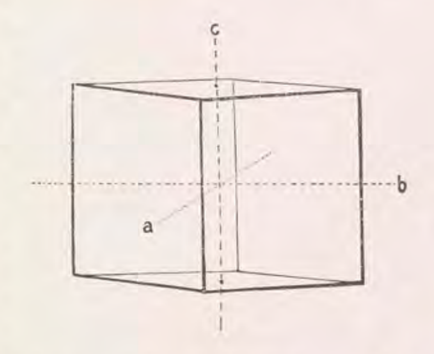
Eine Mazeration der Objekte durch Glühen auf dem Platinblech, also durch Verkohlen des Conchins, die theoretisch vielleicht nicht unmöglich erscheinen könnte, scheitert daran, daß der Kalk durch Erhitzen stark verändert wird und die Bauelemente bei diesem Vorgang verbacken. Etwas günstiger ist das von Römer geübte Verfahren, Perlmutter in geschmolzenes Jodkali einzutragen, dann abkühlen zu lassen und durch Auflösen des Schmelzflusses in Wasser die geglühten Bestandteile wiederzugewinnen.

Kristallographisch-optische Orientierung über Aragonit.

Manchem Leser dürften die folgenden Bemerkungen über die kristallographisch-optischen Eigenschaften des Aragonits willkommen sein; wer mit den Grundzügen der Kristallographie und mit den gewöhnlichen polarisationsmikroskopischen Arbeitsmethoden vertraut ist, mag sie überschlagen. Sie geben eine genügende Orientierung zum Verständnis der bei der Perlmutter beobachteten Kristallformen und der Erscheinungen, die an ihr im Polarisationsmikroskop zu sehen sind.

Aragonit kristallisiert im rhombischen Kristallsystem.

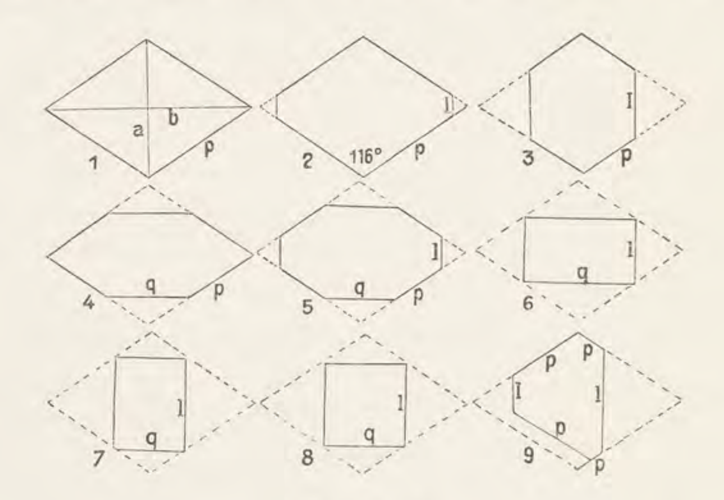
Um eine für unsere Zwecke hinreichende Vorstellung von den Formverhältnissen eines Aragonitkristalls zu erhalten, denke man sich ein Prisma von rhombischem Querschnitt (mit seiner Längsachse senkrecht) vor dem Beschauer aufgestellt, und zwar so, daß die längere Rhombendiagonale (Makrodiagonale) von rechts nach links, die kürzere (Brachydiagonale) von vorn nach hinten verläuft und also der stumpfe Winkel des Rhombus, der bei Aragonit rund 116° beträgt, vorn liegt (Textfig. A). Die vier Seitenflächen werden als „rhombisches Prisma", die beiden (rechtwinklig angelegten) Endflächen als „rhombische Basis"



Textfig. A. Rhombisches Prisma mit eingezeichneten kristallographischen Achsen. *a* Brachy-, *b* Makro-, *c* vertikale Achse.

bezeichnet. Die Lage dieser Kristallflächen wird auf drei rechtwinklige Koordinaten, die „kristallographischen Achsen" bezogen, von denen die eine als vertikale Achse *c* senkrecht steht, die beiden anderen horizontal ziehen, und zwar als Brachyachse *a* der Brachydiagonale, als Makroachse *b* der Makrodiagonale parallel (Textfig. A).

In der Perlmutter sind die Aragonitkristalle meist in Richtung der *c*-Achse schwach entwickelt, also scheibenartig, „tafelig nach der Basis ausgebildet" (vgl. Textfig. C). Auch treten häufig an ihnen



Textfig. B.

Rhombisches Prisma (*p*), tafelig nach der Basis ausgebildet, und seine Kombinationen mit der Längs- (*l*) und Querfläche (*q*).

noch weitere Flächen auf (Textfig. B): die Längsfläche (*l*), welche den spitzen Prismenwinkel senkrecht zur Makroachse abstumpft, und die Querfläche (*q*) in entsprechender Lage zur Brachyachse. Die Längsflächen wandeln den Querschnitt des Prismas in ein symmetrisches Sechseck (Textfig. B *2* u. *3*) um; ähnlich erzeugt auch die Ausbildung der Querflächen symmetrische Sechsecke (Textfig. B *4*). Erscheinen Längs- und Querfläche zusammen, dann entstehen entweder achteckige Kristalle (Textfig. B *5*), oder unter völliger Verdrängung der Prismenflächen rechteckige (Textfig. B *6* u. *7*) bzw. quadratische (Textfig. B *8*).

Oft geht die regelmäßige Gestalt der Kristalle dadurch verloren, daß gleichwertige Flächen (etwa die Längsfläche an den entgegengesetzten Enden der Makroachse) in verschiedener Zentraldistanz erscheinen und daher ungleiche Größe besitzen. Bei solchen „verzerrten" Kristallen (Textfig. B *9*) bleiben aber die Kantenwinkel unverändert und durch Parallelverschiebung der Flächen mit sich selbst kann demnach ein verzerrter Kristall auf die Normalgestalt gebracht werden.

In anderen Fällen werden die Flächen durch Abrundung der Kantenwinkel (insbesondere zwischen Prismen-, Längs- und Querfläche) mehr oder minder unkenntlich und schließlich kann die polyedrische Form völlig unterdrückt werden, so daß rundliche Scheibchen entstehen.

Wachsen zahlreiche Kristalle auf beschränktem Raum heran, so stoßen sie beim Größerwerden aufeinander, hemmen sich gegenseitig in der Ausbildung der Kristallform und erzeugen so Begrenzungsflächen — Kontaktflächen —, die mit Kristalflächen nichts zu schaffen haben.

Verwachsung zahlreicher Kristalle liefert Aggregate, in denen die einzelnen Individuen regellos zueinander stehen oder aber eine bestimmte Anordnung aufweisen: geordnete Aggregate; in den letzten haben die Kristalle entweder nur eine Richtung gemeinsam, oder eine Ebene (Zwillingsbildung) oder sie sind völlig parallel gerichtet. —

Geht Licht durch einen rhombischen Kristall, so wird es in zwei linear polarisierte, senkrecht zueinander schwingende Komponenten zerlegt, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit verschieden ist und von der Richtung des Lichteinfalls abhängt.

Wir wollen nur den vor allem wichtigen Fall besprechen, daß das Licht parallel einer kristallographischen Achse eintritt: alsdann erfolgen die (Transversal-)Schwingungen der beiden Komponenten parallel den beiden anderen Achsen. So liefert (Textfig. C) ein Strahl parallel der vertikalen Achse (*c*) eine Komponente $\mathfrak{b}$, die schneller fortschreitet und in Richtung der Brachyachse (*a*) schwingt und eine zweite, langsamer sich fortpflanzende $\mathfrak{c}$, die in Richtung der Makroachse (*b*) schwingt. Die genannten Schwingungsrichtungen sind durch dick ausgezogene Strecken auf den betreffenden Achsen gekennzeichnet, deren Länge zugleich (in starker Übertreibung) den relativen Unterschied der zugehörigen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten zum Ausdruck bringen soll. Bei Lichteinfall längs der Brachy- (*a*) oder Makroachse (*b*) schwingt die schneller sich fortpflanzende Komponente $\mathfrak{a}$ — sie ist überhaupt die schnellste von allen — in Richtung der vertikalen Achse (*c*), die langsamer fortschreitende parallel der Makro- bzw. Brachyachse als $\mathfrak{c}$ bzw. $\mathfrak{b}$.

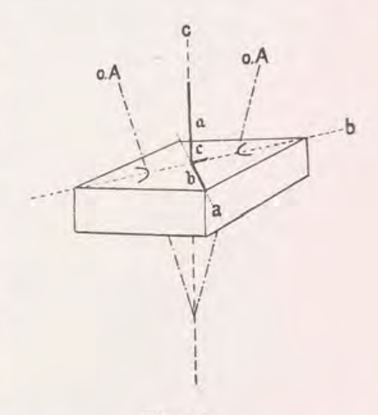


Fig. C.
Schema eines Aragonitkristalles mit eingezeichneten kristallographischen Achsen *a*, *b*, *c*, Hauptschwingungsrichtungen $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$ und optischen Achsen *o. A.*

Die Schwingungsrichtungen parallel den kristallographischen Achsen heißen die „Hauptschwingungsrichtungen“ im Kristall; von ihnen ist $\mathfrak{a} > \mathfrak{b} > \mathfrak{c}$. Schwingt wie beim Aragonit der schnellste Strahl in der vertikalen Achse („$\mathfrak{a} = c$“) — pflanzt sich also senkrecht

zu ihr fort —, dann ist der „Charakter der Doppelbrechung" negativ.

Auch wenn die Kristallflächen fehlen und also aus der Form die kristallographischen Achsen nicht erschlossen werden können, lassen sie sich durch die genannten Beziehungen zu den Schwingungsrichtungen leicht mittels Untersuchung im polarisierten Licht feststellen. Erscheint der Kristall zwischen gekreuzten Nicols dunkel (löscht er aus), dann fallen nämlich die wirksamen Schwingungsrichtungen mit den (bekannten) Polarisationsebenen der Nicols überein: Schwingungsrichtung = Auslöschrichtung. (Das tritt beim Aragonit gemäß dem oben Gesagten stets ein, wenn eine kristallographische Achse mit einer Polarisationsebene zusammenfällt.)

Die weitergehende Unterscheidung von zwei so aufgefundenen Schwingungsrichtungen nach der relativen Größe der zugehörigen Fortpflanzungsgeschwindigkeit geschieht durch Vergleich mit einer Kristallplatte (Gips Rot I. Ordnung), bei der Schwingungsrichtung und relative Geschwindigkeit der beiden Komponenten bekannt (markiert) sind. Orientiert man eine solche Platte mit ihren Auslöschrichtungen diagonal zu den Polarisationsebenen der Nicols und bringt die zu prüfende in gleicher Lage über sie, dann erscheinen steigende Interferenzfarben (Additionsfarben), wenn in beiden Platten die Schwingungsrichtungen größter und damit auch kleinster Fortpflanzungsgeschwindigkeit zusammenfallen; dagegen sinkende (Subtraktionsfarben), wenn sie gekreuzt zueinander liegen. So läßt sich also auch bei mangelnder Kristallform die Lage der kristallographischen Achsen im allgemeinen festlegen.

Weiter kann man fesstellen, ob das Licht in einem gegebenen Falle parallel oder senkrecht zur Basis den Kristall durchläuft. Die Entscheidung über den letzten Punkt erfolgt durch Prüfung des Achsenbildes. In jedem rhombischen Kristall gibt es zwei Richtungen, optische Achsen (*o. A.*, Textfig. C), in denen die beiden Komponenten sich mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen und keine Doppelbrechung stattfindet („zweiachsige Kristalle"). Die optischen Achsen bilden einen spitzem Winkel untereinander und mit der *c*-Achse, die als Halbierende des spitzen Achsenwinkels auch „I. Mittellinie" genannt wird (vgl. Textfig. C). Bei Untersuchung eines auf der Basisfläche gelegenen Kristalls im konvergenten polarisierten Licht[1]) nimmt man die „Spuren" der Achsen im Achsenbild wahr. Stellt man die Schwingungsrichtungen im Kristall in Diagonalstellung zu den Polarisationsebenen der Nicols, dann erscheinen sie nämlich als Scheitel

1) Beobachtung des Achsenbildes, „konoskopische Untersuchung", geschieht am einfachsten derart, daß ein Objektiv von hoher numerischer Apertur unter Anwendung eines entsprechenden Kondensors auf das Objekt eingestellt, dann nach Entfernen des Okulars (bei gekreuzten Nicols) das Öffnungsbild des Objektivs betrachtet wird.

zweier dunkler Hyperbeln (vgl. Textfig. C), die (bei geeigneter Dicke der Platte) von einem System lemniskatenähnlicher Kurven umgeben sind. Die Verbindungslinie der Hyperbelscheitel kennzeichnet die „Achsenebene"; sie enthält die Schwingungsrichtungen der Welle mit größter (𝔞) und kleinster Fortpflanzungsgeschwindigkeit (𝔠) und ihre Spur fällt mit der Makrodiagonale zusammen. Die Halbierende des stumpfen Winkels der optischen Achsen (zusammenfallend mit der Makroachse) heißt „II. Mittellinie", die Richtung senkrecht zur Achsenebene (Brachyachse) „optische Normale".

Läßt sich demnach ein — symmetrisches — Achsenbild bei Aragonit beobachten, so ist damit nicht nur sichergestellt, daß der Kristall in der Richtung der c-Achse vom Licht durchsetzt wird, also die Lage der Basisfläche bestimmt, sondern es kann auch ohne weiters Makroachse bzw. II. Mittellinie (= Spur der Achsenebene) und Brachyachse bzw. optische Normale (= $\perp$ zur Spur der Achsenebene) unterschieden werden. Schließlich läßt sich auch der Charakter der Doppelbrechung (s. o.) am Achsenbild mittels Gipsblättchen nach folgender Regel erkennen:

Das Achsenbild eines negativen Kristalls zeigt in der Mitte des Gesichtsfeldes bei Parallelität von Achsenebene und Schwingungsrichtung der schneller sich fortpflanzenden Welle im Gipsblättchen Subtraktionsfarben. —

A. Bau und Bildung der Perlmuttersubstanz.

Als allgemeinste, schon frühzeitig ausgesprochene (vgl. z. B. Hatchett, 1799) und von vielen Autoren geteilte Vorstellung über Bau und Bildung der Perlmuttersubstanz kann folgende gelten. Perlmutter besteht aus sehr dünnen (abwechselnd organischen und kalkigen) Lamellen, die dicht übereinander geschichtet und im wesentlichen zur Schalenfläche parallel angeordnet sind, demgemäß auf dem Querschnitt der Perlmutterlage als feine Horizontalstreifen erscheinen. Das Dickenwachstum der Perlmutterlage vollzieht sich so, daß auf der inneren, dem Mantel zugekehrten Seite eine Lamelle nach der anderen angelagert wird und, indem zugleich jede nach dem Rand der Schale hin etwas über die vorhergehende hinausragt, findet auch ein Flächenwachstum der Perlmutter statt (solange überhaupt das Tier und damit der Mantel an Größe zunimmt). Der natürlichen Innenfläche der Perlmutterlage wollen wir uns daher zuerst zuwenden; wenn irgendwo, dann sind hier am ehesten Aufschlüsse über die feineren Vorgänge bei ihrer Bildung zu erwarten.

I. Die Strukturen der wachsenden Perlmutteroberfläche.

a) Historisches.

Bei der großen Bedeutung, welche gemäß dem eben Gesagten der Untersuchung der natürlichen Innenseite der Perlmutterlage zukommt, ist es erstaunlich, daß nur verhältnismäßig wenige Forscher ein besonderes Augenmerk auf ihre Beschaffenheit gerichtet haben. Dieser Umstand scheint mir hauptsächlich darin begründet zu sein, daß die Strukturen auf der natürlichen Innenseite, oder wie wir dafür kurz sagen wollen, auf der „Oberfläche" der Perlmutterlage, Ähnlichkeit und Verwandtschaft mit anderen auf der Fläche von Spaltblättchen und Flachschliffen besitzen: sie zu identifizieren, war aber ein verhängnisvoller Irrtum, der den Weg zur Erkenntnis der Perlmutterbildung versperren mußte. Ferner liegen eine Anzahl sehr wichtiger Mitteilungen über Vorkommen von Kristallen auf der Perlmutteroberfläche vor; aber sie wurden, wenn auch in ihrem Wert für einen Nachweis von Kristallisationsvorgängen bei der Perlmutterbildung nicht unterschätzt, so doch mehr als gelegentliche Vorkommnisse und nicht als die regelrechten Entwicklungszustände der Perlmutter gedeutet.

Im einzelnen sind die hierhergehörigen Tatsachen folgende, wobei wir sie nach den eben angedeuteten Gesichtspunkten in zwei Gruppen gliedern, im übrigen aber die einzelnen Autoren in chronologischer Reihenfolge zu Wort kommen lassen.

Als Brewster (1813, p. 406—407, 409—410, 415—416) ein aufs Goniometer aufgekittetes Perlmutterstück ablöste, zeigte der Kitt die Farbenerscheinungen der Perlmutter und in gleicher Weise ließ sich durch Druck das Farbenspiel (auch von Perlen) auf schwarzen und roten Siegellack, Tolubalsam, Gummi arabikum, aufs Wachs gelegte Goldplättchen, Zinnfolie, Wismut-Quecksiber-Legierung übertragen, so daß die Perlmutteroberfläche an den optischen Erscheinungen mit beteiligt sein mußte. Mikroskopische Untersuchung ergab Brewster, daß die Perlmutteroberfläche mit „elementaren Furchen" bedeckt ist, die er u. a. sehr treffend mit der zarten Zeichnung auf der Fingerspitze eines Kindes vergleicht; indem er aber hinzufügt, daß diese Furchen durch keine Politur verändert oder beseitigt werden können, wird der Unterschied zwischen den Wachstumszonen (s. u.) der natürlichen Oberfläche und den Niveaulinien am Spaltblättchen und Flachschliff außer acht gelassen, wie überhaupt aus Brewster's Angaben nicht sicher zu entnehmen ist, wie weit sie sich auf die natürliche Perlmutteroberfläche beziehen.

Carpenter, der die von Brewster gesehenen Furchen durch Fältelung der einzelnen Lamellen erklären möchte (1843, p. 382), bemerkt später (1844, p. 11), daß diese Linienzeichnung auch auf der natürlichen inneren Schalenoberfläche sichtbar sei, und verfällt damit in den gleichen Fehler.

Nach Möbius (1858, p. 66) beobachtet man bei Perlen, die einen Anflug von Perlmutterfarbe haben, zarte, unregelmäßig ge-

krümmte Furchen auf der Oberfläche, die entweder mit anderen ziemlich parallel laufen oder eine unregelmäßige, kleine geschlossene Kurve bilden. „Diese Bildung der Oberfläche ist die Folge der Art des Wachsens der Perle, welches dadurch geschieht, daß sich dünne Schichten des Perlmutterstoffes über einander lagern, die nur einen geringen Umfang haben. Es wird keine rund herum zusammenhängende Schicht, keine ganze Kugelfläche aufgelegt, sondern eine Menge kleiner Portionen, die bald über den Rand der unterliegenden Schicht hinweggreifen, bald ihn unbedeckt noch hervortreten lassen. Am klarsten tritt diese Struktur an der Perlmutterschale hervor, . . . wo die Schichten in einer ebenen oder wenig gekrümmten Fläche abgelagert sind. Hier laufen streckenlang jene krummen, zackigen Furchen nach gleicher Richtung, ändern dieselbe jedoch oft in unregelmäßiger Weise. Ebenso bleibt sich die Entfernung der Furchen von einander nicht immer gleich“ . . . (p. 66—67). Deutlich und klar spricht Möbius hier die Tatsache aus, daß die Anlage neuer Perlmutterlagen diskontinuierlich „in kleinen Portionen“ erfolgt und belegt sie mit dem Bild einer amerikanischen Seeperle (fig. 6 a. a. O.).

Weitere Einzelheiten erfahren wir dann bei v. Hessling (1859): Bei der Perlmutterbildung scheidet das Mantelepithel ein Häutchen aus, dem sich Kalkkörnchen anlagern (p. 375, Erklärung von fig. 2, tab. 5), die schließlich zu vieleckigen Stückchen zusammenfließen (p. 260), die ihrer Gestalt nach Abscheidungsportionen von einer oder einem Komplex mehrerer Mantelzellen entsprechen (p. 252—253). Diesen inzwischen bereits von anderen Autoren gesehenen vieleckigen Plättchen werden wir an anderer Stelle unserer historischen Betrachtungen nachzugehen haben. Hier sei weiter noch erwähnt, daß v. Hessling glaubt, daß die organischen Membranen in der Regel als vollkommene Schichten (nicht in Abteilungen oder Fragmenten) abgelagert würden, der Kalk dagegen in mehr oder minder großen Abteilungen über und hintereinander auf die immer zuerst gebildete Membran. Schließlich möchte ich noch auf Abbildung 2 u. 3, tab. 6 bei v. Hessling aufmerksam machen, deren erste eine Ansicht der Innenfläche von *Meleagrina*, deren zweite die Oberfläche einer Perle der gleichen Form darstellt.

v. Nathusius (1877) beobachtet das Ablösen getrübter häutiger Lamellen auf der Innenseite der Schale bei *Anodonta*, die mit einer dichten Lage zahlloser Kalkkörnchen von 0,5—0,7 μ bedeckt waren. Wo sie sich häufen, verschmelzen sie zu unregelmäßig gekrümmten Stäbchen aber auch zu ringförmigen Gebilden von 3—4 μ Durchmesser (p. 95—96).

Wie Möbius für die genannten Formen, so schließt Ehrenbaum (1885, p. 12—13) aus eigentümlich begrenzten Schalenbezirken auf der Innenseite junger und durchsichtiger *Mytilus*-Schalen, daß immer nur einzelne Bezirke der sezernierenden Epithelzellen in Funktion sind; die anfänglich frei gebliebenen Stellen würden später ausgefüllt. Damit sei von vornherein der Grund zur Septierung jeder einzelnen Lamelle gegeben. Also auch dieser Autor spricht sich für eine diskontinuierliche Anlage der einzelnen Perlmutterlamellen aus.

Müller (1885, p. 236—238) kommt zu folgendem Ergebnis betr.

der Perlmutterbildung: „Die netzförmige, polyedrische Zeichnung der Perlmutterhäutchen entsteht durch denselben Verkalkungsprozeß, wie dieser an der Prismenschicht vor sich geht, mit dem Unterschiede, daß dort der Kalk in eine sehr dicke Membran, das Periostracum, abgelagert wird . . . während bei der Perlmutterschicht der Kalk in und zwischen sehr zarte Häutchen sich absetzt. Die Verkalkung einer Membran tritt nicht gleichmäßig auf der ganzen Fläche ein, sondern an einzelnen kleinen Stellen wie am Schalenrande. Während diese sich allmählich ringförmig nach allen Dimensionen ausdehnen, entstehen zwischen ihnen wahrscheinlich neue Verkalkungspunkte, sich naheliegende Gebilde verschmelzen miteinander. . . . Wird nach dem Innern der Schale die Verkalkung fester und dichter, so platten sich die rundlichen Gebilde zu polyedrischen Formen gegenseitig ab. Diese in die fibrillären organischen Membrane eingepreßten Formen bleiben auch nach der Entkalkung."

List (1902, p. 90) äußerte für *Lithophagus*: „Von den neu gebildeten Perlmutterschichten ist es sehr wahrscheinlich, daß sie auch aus umgebildeter Zellsubstanz hervorgehen; denn sie liegen dem Epithel ebenfalls dicht an und sind fest mit ihm verbunden."

Rubbel (1911, p. 342) stimmt Möbius darin zu, daß bei den Perlen die Perlmutterschichten nicht als ganze Kugelschalen sondern in Form von Kalotten abgelagert würden; doch sei es zweifelhaft ob eine solche einer einzelnen Perlmutterlamelle entspreche, vielmehr handele es sich um Gruppen von solchen.

Die im vorstehenden mehrfach geäußerte Anschauung, daß die Anlage der Perlmutterschicht in Portionen erfolgt — und sie ist, wie unsere Befunde lehren werden, richtig — blieb nicht ohne Widerspruch. Biedermann (1902, p. 24) lehnt die Meinung Ehrenbaum's (s. o.) von einer diskontinuierlichen Anlage der Perlmutterschicht (bei *Mytilus*) ab und glaubt sie so erklären zu können, daß die von jenem gesehenen eigentümlich begrenzten Abschnitte auf der Innenseite der Schale eine besondere Struktur der Prismenschicht sei. Vielmehr müsse man daran festhalten, daß jede der zahllosen Lamellen eben und ungefaltet, als kontinuierliche Schicht abgelagert werde. Bei diesem Standpunkt von Biedermann ist es nicht erstaunlich, daß in seiner schon öfter erwähnten Zusammenfassung (1914) die vorstehenden Mitteilungen von v. Hessling, Möbius, Müller, Ehrenbaum nicht hinreichend gewürdigt werden, was ihre ausführlichere Besprechung hier rechtfertigt.

Schon hier mögen Jameson's (1912, p. 309—310) allgemeine Bemerkungen zur Perlmutterbildung Platz finden. Die feine Streifung und gekammerte Struktur entsteht durch rhythmisch intermittierende Sekretionstätigkeit der kontrollierenden Epidermis. Die Bildung der Schale ist ein chemisch physikalischer Vorgang, Kristallisation in kolloidalen Medien, kontrolliert und begrenzt durch den Zeitfaktor, der eine Funktion von lebenden Zellen ist (p. 309—310).

Leduc (1912, p. 96—97) nimmt an, daß Perlmutter durch periodische Ausfällung entsteht. Fügt man zu einer 10%igen Gelatinelösung auf je 5 ccm einen Tropfen Calciumnitratlösung, gießt die Gelatine auf Glasplatten aus und läßt, wenn sie erstarrt ist, eine Mischung von zwei-

basischem Kalium- (bzw. Natrium-)karbonat und -phosphat darin diffundieren, so entstehen kreisförmige Gitter, wenn man die Lösung in Form von Tropfen aufsetzt, geradlinige Ausfällungen, wenn man die Lösung mittels paralleler Glasplatten geradlinig aufträgt (Streifenabstand 1—2 μ). „Diese Gitter von Calciumphosphat und -karbonat sind nichts anderes als das Perlmutter von Mollusken und Perlen; sie besitzen die chemische Struktur und Zusammensetzung, ihre physikalischen Eigenschaften und Regenbogenfärbung und ihren Glanz und ihr Feuer. Dieser Versuch bedeutet also die Synthese des Perlmutters und zwar nicht nur eine Synthese der chemischen Zusammensetzung, sondern auch und zwar vor allem eine Synthese der Struktur und der organischen Bildung."

SIEBERT (1913, p. 474) schließt sich STEMPELL (1900) hinsichtlich der Perlmutterbildung an. Mehr oder weniger bestimmt geformte, weiche Membranen werden vom Epithel abgestoßen; außerdem entstehen flüssige Sekretionsprodukte, die in den Zwischenräumen jener Membranen erstarren und zusammen mit ihnen die einheitliche Schale aufbauen.

BIEDERMANN (1914, a. a. O., p. 681) weist auf die Bedeutung der Tatsache hin, daß die äußerste jüngste Perlmutterschicht (Anschleifen der Perlmuttersubstanz von außen her, bis sie durchsichtig geworden ist) regelmäßig eine gleichmäßige polygonale Felderung zeigt, die man auf den ersten Blick für den Abdruck eines flächenhaft ausgebreiteten Epithels ansehen möchte, zumal ja die Perlmutterschicht während ihrer Bildung unmittelbar mit einer solchen in Beziehung steht (über die von vielen Autoren an Schliffen beobachtete polygonale Felderung später!). Der außerordentlich feine lamelläre Bau der Perlmuttsr veranlaßt BIEDERMANN (a. a. O., p. 716) zur Vermutung, daß bei der Bildung der Perlmuttersubstanz periodische Ausfällung wohl die wichtigste Rolle spielen dürfte. —

Wenden wir uns nun zu dem Vorkommen von Kristallen auf der wachsenden Perlmutterfläche. Diese Bildungen sind sehr verschieden beurteilt worden. STEMPELL (1900, p. 699) äußert nach kritischer Durchsicht der einzelnen Befunde, daß „. . . nur wenige Beispiele vorliegen, wo Kristallisationsprozesse . . . in der erstarrenden Sekretmasse auftreten und gleichzeitig die ganze Struktur der erstarrenden Sekretmasse bestimmen. Diese vereinzelten . . . Vorkommnisse sind aber insofern Ausnahmen, . . . als sie sämtlich auf anormaler Kalk- und Conchinarmut der betreffenden Sekrete beruhen." Ganz anders ist die Bewertung dieser Tatsachen bei BIEDERMANN (1902 u. 1914).

Im einzelnen handelt es sich um folgendes.

ROSE (1859) sah bei *Pinna nigrina* auf der Innenseite der Perlmutterlage kurz vor ihrem Auslaufen sechseckige Kristalle. „Hier scheint der kohlensaure Kalk nicht in hinreichender Menge vorhanden gewesen zu sein, um eine ganze Schicht zu bilden; er hat sich demnach in einzelne sechsseitig tafelartige Kristalle zusammengezogen, die mehr oder weniger scharf sind . . . und alle unter einander parallel oder ungefähr parallel in Reihen bei einander liegen, die ungefähr rechtwinklig auf den Anwachsstreifen stehen" (p. 82). Die Kristalle liegen mehrfach übereinander, die oberen werden immer kleiner, die obersten sind zuweilen

unregelmäßig. An anderen Stellen desselben Exemplares hatten die Kristalle das Aussehen von achtseitigen Tafeln die ebenfalls übereinander und in Reihen geordnet waren; ihr oberer stumpfer Winkel war abgestumpft, aber die Winkel zu Seiten der Abstumpfungsfläche alle geradlinig, gewöhnlich abgerundet. Die Sechsecke „sind symmetrische Sechsecke entsprechend dem Querschnitte des Aragonits durch die Kombination des vertikalen Prismas von 116° mit der Längsfläche, und die Beobachtung von Achtecken . . . macht diese Annahme noch wahrscheinlicher; denn wären es reguläre Sechsecke, wie beim Kalkspat vorkommen, so könnte der stumpfe Winkel nicht abgestumpft sein und es könnten nicht achtseitige Tafeln vorkommen" (p. 83, a. a. O.). Von *Pinna seminuda* berichtet Rose, daß „hier fast überall die innersten Blätter der Perlmutterlage in einzelne Sechsecke zerfallen . . .; aber diese sind nicht so lang gezogen" (p. 83).

Bei *Pinna aequilatera* Martens sah Ehrenbaum (a. a. O., p. 33) 6—8seitige Tafeln und konstatiert ferner, daß sich bei *Pinna* alle möglichen Übergänge von geradlinig begrenzten Tafelformen zu den oben erwähnten (s. S. 19) rundlichen Formen bei *Mytilus* vorfinden (p. 34).

Auch Römer (1903, p. 470) fand in der Perlmutterlage von *Pinna* stellenweise einen Aufbau aus regelmäßig mehrseitigen Kristalltafeln.

Auf der Innenfläche der Perlmutterschichte von *Anodonta* beobachtete Rassbach (1912) die schon öfter beschriebene polyedrische Struktur (p. 403), die er einerseits mit den Perlmutterblättchen identifiziert, die man bei der Behandlung dieser Schicht mit Kalilauge erhält, andererseits mit den von Rose gefundenen regelmäßigen Sechsecken auf der Innenseite bei *Pinna* (p. 404). Aber Rassbach irrt in der richtigen Deutung dieser Gebilde, wenn er sie im Anschluß an Römer als Sphärokristalle deuten möchte, weil er den Übergang sphärokristallinischer Strukturen in die polyedrische Felderung der Perlmutterschicht an einem Regenerat verfolgen konnte (p. 434 u. 442). — In der organischen Membran, die sich auf der Innenseite von Schalen, die längere Zeit trocken gelegen haben, loslöst, sah Rassbach kleine Körnchen in wabenförmiger Anordnung, die gemäß ihrer Löslichkeit in Salzsäurealkohol aus kohlensaurem Kalk bestehen dürften, ferner einzelne Kalkkristalle von verschiedenen Formen (Nadeln, vielstrahlige Sterne), die der Autor als Reservestoffe ansprechen möchte, als eine Kalkabsonderung, die über das Maß des für die Bildung der betreffenden Perlmutterlamelle Notwendigen hinausging (p. 405).

H. Karny (1913) möchte die Beobachtungen von Römer u. A. über Kristalle bei *Pinna* nicht für zutreffend halten (p. 230) und konnte auch selbst solche nicht feststellen (p. 219).

Neumann (s. S. 8) berichtet, daß die Linien auf der natürlichen Oberfläche (und den Schliffen) nicht gleichweit voneinander entfernt sind. Teilweise kann man sie schon mit einer schwachen Lupe erkennen, teilweise aber nähern sie sich bis zu 2 μ. In der Nähe des Schalenrandes, wo das Irisieren am stärksten hervortritt, liegen sie am nächsten und sind fast genau parallel. Sie stellen physikalisch ein Gitter mit zum Teil unregelmäßig voneinander entfernten Spalten dar, dessen einzelne Spalte in unregelmäßig welliger Zickzackform verlaufen. An Stellen einer natürlichen

Oberfläche, wo keinerlei Irisieren vorhanden ist, liegen die Linien weiter voneinander entfernt und verlaufen miteinander meist in vollkommen unregelmäßiger Weise. Abgesehen von Verletzungen zeigt die natürliche Oberfläche nur die durch den lamellösen Aufbau der übereinandergreifenden Schichten und durch das Vorrücken der Mantellinie bedingten Zickzacklinien. Auch an einer späteren Stelle äußert NEUMANN, daß die Zickzacklinien der natürlichen Oberfläche teils durch Vorrücken der Mantellinie bedingt sind, teils aber auch den Rändern der einander übergreifenden, schräg zur natürlichen Oberfläche liegenden Schichten entsprechen und hebt ihren Unterschied gegenüber den Zickzacklinien der Flächenschliffe hervor, die durch das Herausbrechen der Kristalle aus den Kalklamellen entstehen.

b) Eigene Untersuchungen.

1. Die Wachstumsmaserung.

Die Perlmutterlage der Muscheln bietet auf der inneren Schalenseite, also auf ihrer wachsenden Fläche, bei Betrachtung im auf-



Fig. D. *Margaritana margaritifera.* Natürliche Innenfläche der Schale. Wachstumsmaserung am Schalenrand (Perlmutter-Prismengrenze). 20 : 1. Auffallendes Licht, Opakilluminatoraufnahme von E. LEITZ, Wetzlar.

fallenden Licht (Hautmikroskop, GREENOUGH's Binokular, Opakilluminator) eine sehr charakteristische zarte Zeichnung dar. Im einzelnen äußerst wechselvoll, setzt sie sich aus zahlreichen, leicht gewellten, stärker gekrümmten oder gar zu Kurven geschlossenen Linien zusammen, die in größeren oder kleineren Gebieten im wesentlichen parallel geordnet sind (Textfig. D, E u. F). Obwohl es schwer hält, eine für alle Fälle zutreffende Charakterisierung der Erscheinung mit einem Wort zu geben, bezeichne ich sie um eines kurzen Ausdrucks willen als Maserung.



Fig. E.
Wachstumsmaserung aus dem mittleren Teil der Schale von *Meleagrina margaritifera*. ca. 60 : 1. Auffallendes Licht, Opakilluminatoraufnahme von E. LEITZ, Wetzlar.

Diese Maserung kommt der natürlichen Innenfläche der Perlmutter ganz allgemein zu, wenngleich die Deutlichkeit ihrer Ausbildung nicht überall dieselbe ist. Richtige Beleuchtung vorausgesetzt, wird man sie fast stets feststellen können. Ich habe auf ihr Vorhandensein bei überaus zahlreichen Arten geachtet; namentlich führe ich an: von den Trigoniden *Trigonia pectinata* LM., von den Nuculiden *Nucula nucleus* L. und *Nucula polii* PHIL.,

von den Unioniden *Unio tuberculatus* Barnes, *U. grayanus* Lea, *Unio ambiguus* Phil., *U. complanatus* Sol., *Anodonta anserina* Spix, *A. angulata* Lea, *A. Castelnaudi* Hupé, *Margaritana margaritifera* Schum., *M. complanata* Barnes, *Barbula plicatula* Sol., *Hyria subviridis* Klein, *Pleiodon ovatus* Sw., von den Anatiniden *Pandora trilineata* Say. und *P. Higgensoni* Phil., von den Aviculiden verschiedene Arten von *Margaritifera (= Meleagrina = Avicula)* z. B. *Avicula radiata* Lm., *Meleagrina margaritifera*, ferner *Crenatula undata* Jon., *Malleus vulgaris* Lm., verschiedene *Pinna*-Arten, z. B. *Pinna nobilis*



Fig. F.
Wachstumsmaserung aus dem mittleren Teil der Schale von *Margaritana margaritifera* (vgl. im übrigen Fig. E).

L., *P. inflata* Ch., von den Mytiliden *Mytilus (edulis) galloprovincialis* Lm., *M. smaragdinus* Chemn., *M. dunkeri* Rv. Es wäre ein Leichtes, diese Reihe beliebig zu vergrößern; doch dürfte sie auch so genügen, um zu belegen, daß die Maserung eine ganz allgemeine Eigentümlichkeit der wachsenden Perlmutterfläche ist.

Als besonders geeignete und leicht zu beschaffende Objekte zum Studium der Maserung nenne ich die Flußperlmuschel (*Marga-*

ritana, vgl. Textfig. D u. F) und die Seeperlmuschel (*Meleagrina*, vgl. Textfig. E). Die einheimischen Anodonten dagegen und ebenso unsere Unionen ließen sie, bei den mir vorliegenden Exemplaren wenigstens, nicht besonders schön erkennen. Doch geht schon aus der obigen Zusammenstellung hervor, daß sie diesen Genera keineswegs fehlt und bei manchen hierher gehörigen Arten z. B. *Anodonta anserina* und *Barbula plicatula* ist sie in ganz hervorragend schöner Weise sichtbar. Solch wechselndes Verhalten in der Deutlichkeit der Maserung hängt zum Teil mit dem jeweiligen Wachstumszustand der Innenfläche zusammen, wie sich aus dem Folgenden noch ergeben wird.

Wie der Innenfläche der Schalenperlmutter, so kommt auch der natürlichen Oberfläche von Perlen, die ganz aus Perlmutter bestehen oder nur eine Rinde dieser Substanz tragen, die gleiche Maserung zu. Dank der Liebenswürdigkeit der Herren Prof. Dr. Hesse in Bonn, Geheimrat Prof. Dr. Korschelt in Marburg und Privatdozent Dr. Alverdes in Halle konnte ich nämlich auch Perlen daraufhin untersuchen und zwar von *Margaritana*, *Meleagrina* (*mazatlantica*: Panamaperlen), ferner künstlich erzeugte japanische Perlen und amerikanische Süßwasserperlen (sogenannte Slugs). Bei allen diesen Perlen, am leichtesten bei solchen von der Flußperlmuschel war die Maserung festzustellen; doch sind die Perlen längst nicht so brauchbar wie Schalenperlmutter, um tiefer in die Bildungsvorgänge auf der wachsenden Perlmutterfläche einzudringen, schon deshalb nicht, weil infolge der mehr oder minder kugeligen Gestalt immer nur kleine Flächen gleichzeitig überschaut werden können. Doch sei bereits hier betont, daß, wie nicht anders zu erwarten, Bau und Bildung der Perlmutter von Perlen genau dieselbe ist, wie an Schalenperlmutter.

Es muß besonders hervorgehoben werden, daß die Maserung der intakten Schaleninnenfläche zukommt. Nicht gar selten begegnet man nämlich Schalen, insbesondere solchen, die nach dem Absterben des Tieres längere Zeit im Wasser gelegen haben oder sonst dem Einfluß von Feuchtigkeit ausgesetzt waren, die schon mit bloßem Auge eine Struktur zeigen, die der Maserung nicht unähnlich ist, aber in ganz anderer Weise zustande kommt. Durch Verwitterungsvorgänge haben sich nämlich hier und dort und in verschiedener Ausdehnung dünne Perlmutterlagen abgelöst und dadurch Vertiefungen und Erhöhungen auf der Innenseite erzeugt, die an ihren abfallenden Hängen die lamellöse Horizontalschichtung der

Perlmuttermasse erkennen lassen. Niemals habe ich die Maserung, deren feinere Beschaffenheit und Bedeutung im folgenden erörtert wird, so grob ausgebildet gesehen, daß sie dem unbewaffneten Auge zugänglich gewesen wäre, und während verwitterte Schalen in der Regel keine gleichmäßig glänzende Innenfläche zeigen, findet sich die Maserung bei Schalen, die spiegelglatt erscheinen. Wenn allerdings diese Verwitterungsvorgänge noch wenig ausgesprochen sind, ja nur bei schwächeren Vergrößerungen in die Erscheinung treten, dann kann ihre Unterscheidung von echter Maserung nicht ganz leicht sein.

Die Maserung findet sich auf der ganzen Innenfläche der Perlmutter, mit Ausnahme der Stellen, an denen Muskeln ansetzen; in diesem Bereich kommt es vielmehr zur Entwicklung der „hellen Schicht“, der wir später einen besonderen Abschnitt widmen.

Im allgemeinen läßt die Maserung am Rande und in der Mitte der Schale gewisse Unterschiede nicht verkennen. Dort — oft aber nur als ganz schmale Zone — ziehen die Linien leicht wellig gebogen untereinander und zugleich dem Schalenrand parallel (vgl. Textfig. D). Nach dem Innern der Schale zu ändert sich das Bild insofern (vgl. Textfig. E u. F), als die Linien durchweg stärker gekrümmt sind und sich in zahlreiche Kurvensysteme gliedern, die untereinander mehr oder minder zusammenhängen. Innerhalb jedes Systems verlaufen die Linien im wesentlichen parallel, bei geschlossenen Kurven in konzentrischer Anordnung; benachbarte Systeme brauchen aber keine Übereinstimmung in der allgemeinen Richtung der Linien darzubieten. Auch außerhalb und innerhalb der Mantellinie (so z. B. bei *Margaritana*) kann die Maserung Unterschiede zeigen.

Ein genaueres Verfolgen einzelner Linien ergibt bald, daß sie hier und dort unterbrochen sind, also frei endigen, andererseits aber auch miteinander verschmelzen, bzw. sich gabeln können (vgl. Textfig. D, E u. F).

2. Die Wachstumszonen.

Die als Maserung geschilderte Zeichnung auf der natürlichen Perlmutterinnenfläche läßt bei schöner Ausbildung abwechselnd helle glänzende und dunklere matte Stellen unterscheiden (Textfig. D u. F). Eine genauere Prüfung derselben, sei es mittels des Opakilluminators (Textfig. G), sei es an Dünnschliffen im durchfallenden Licht (Fig. 1, Taf. 1, *Barbula*), ergibt folgendes.

Im Bereich der hellen Stellen bildet die Schaleninnenfläche eine glatte, geschlossene Fläche; an den dunklen dagegen ist die Kontinuität der Oberfläche gestört: hier findet sich eine Unmenge kleiner, mehr oder minder vollkommen isolierter Stückchen, die durch Lücken voneinander getrennt werden (Textfig. G). Die unregelmäßige Reflexion des Lichtes an diesen Stellen erklärt ihr mattes dunkles Aussehen unter Vergrößerungen, bei denen die genannten Einzelheiten noch nicht wahrnehmbar sind.



Fig. G. Wachstumszonen von *Margaritana margaritifera* 310 : 1. Auffallendes Licht. Opakilluminatoraufnahme von E. Leitz, Wetzlar.

Dunkle und helle Stellen gehen allmählich ineinander über, indem die genannten isolierten Teilchen an Größe zunehmen und endlich zu einer geschlossenen Schicht sich zusammenfügen. Damit ist aber die Eigenart der Maserung keineswegs erschöpft. Denn nicht eine einzige, stellenweise in ihrem Zusammenhang gelockerte Lamelle kleidet das Schaleninnere aus, sondern es handelt sich um ein Terrassensystem, das aus äußerst feinen Lamellen aufgebaut ist, die am Rande der Terrassen gleich Stufen einzeln zum Vorschein kommen. Infolge ihrer geringen Stärke erscheinen diese Stufen, bei Ansicht von der Fläche wie in einer Ebene gelegen. Und zwar zeigt der peripherische, äußerste Rand einer jeden Stufe, den wir aus später verständlichen Gründen als Wachstumszone bezeichnen, die oben beschriebene Zusammensetzung aus kleinen isolierten Teilchen; nach innen zu schließt sich die Lamelle allmählich und dient ihrerseits als Unterlage für den wachsenden Rand der darübergelegenen Lamelle.

Betrachten wir unter solchem Gesichtswinkel die angezogenen Abbildungen (Textfig. G u. Fig. 1, Taf. 1), deren Einzelheiten uns bisher nur als Elemente einer flächenhaften Zeichnung galten, dann erhebt sich sofort die Frage, wie denn die verschiedenen Niveaus im ganzen räumlich zueinander geordnet sind. Im einfachsten Falle, bei der geradlinig-parallelen Anordnung der Wachstumszonen im

Schalenrand, greifen sie gleich sehr niedrigen Treppenstufen übereinander und zwar derart, daß der Anstieg der Treppen sich vom Rand nach dem Schaleninnern hin vollzieht. Indessen schreitet der Aufbau nur eine kurze Strecke weit in dieser Art fort. Vielmehr stellt sich bald eine häufig sich wiederholende Umkehr des Gefälles ein, das für den mittleren Teil der Schale geradezu als charakteristisch gelten kann. Hier bestehen die Wachstumszonen ja vielfach als Systeme geschlossener Kurven. Die innerste Kurve eines solchen Systems entspricht dem höchsten Niveau, die sie konzentrisch umschließenden aber tiefer gelegenen Terrassen, deren Niveau mit der Entfernung vom Zentrum eines solchen Kurvensystems diesem gegenüber mehr und mehr sinkt. Da nun zahlreiche derartige Kurvensysteme — Wachstumsbezirke — im Innern der Schale nebeneinander liegen, so erhellt ohne weiteres, daß die Niveauänderungen aufeinander folgender Wachstumszonen über eine gewisse Fläche hin sich nicht ständig im gleichen Sinne vollziehen können, sondern hier einem vielfachen Wechsel unterliegen müssen. Es besteht mit anderen Worten ein reich gegliedertes Terrassensystem auf der natürlichen Oberfläche der Perlmutter.

Die Niveaudifferenzen benachbarter Lamellen (Stufen) sind außerordentlich gering und in Flächenansicht keiner exakten Messung zugänglich; denn selbst bei den stärksten Objektiven und feinsten Mikrometerschrauben reicht eine minimale Änderung der Einstellung hin, um zwei benachbarte Terrassen deutlich erscheinen zu lassen. Nach später mitzuteilenden Beobachtungen am Querschliff erreichen sie höchstens 2 μ, bleiben meist noch hinter 1 μ zurück.

Die Niveauverhältnisse des Terrassensystems erfahren noch dadurch eine Komplikation, daß die Lamellen nicht nur sprungweise an den Terrassenrändern gegeneinander geschieden sind, sondern hier und da auch kontinuierlich, also gewissermaßen durch schiefe Ebenen, ineinander übergehen. Wurde doch schon vorhin darauf hingewiesen, daß die dunklen Zonen vielfach in der Maserung frei endigen (Textfig. D u. F; Fig. 1, Taf. 1). An solchen Stellen vereinigen sich demnach zwei helle Streifen, die im allgemeinen durch einen dunklen geschieden werden, miteinander, und das besagt gemäß der räumlichen Deutung, die wir der Maserung unterlegen müssen, nichts anderes, als daß hier die Differenz zwischen zwei verschiedenen Stufen allmählich ausgeglichen wird. Umgekehrt müssen wir die Gabelung einer dunklen Zone als Einschaltung einer neuen Terrasse zwischen zwei anderen auffassen.

Unsere bisherigen Beobachtungen nötigen uns also, die Maserung als ein sehr feines Relief, ein Terrassensystem, zu betrachten, daß sich aus den Wachstumszonen als Stufen zusammensetzt. Im Gegensatz zu der weit verbreiteten, aber keineswegs von allen Forschern (s. S. 19) geteilten Anschauung, daß eine Perlmutterlamelle nach der anderen als kontinuierliche Schicht auf der Innenseite der Schale angelagert wird, stoßen wir auf eine bemerkenswerte vertikale Gliederung der Schaleninnenfläche. Nicht nur besteht die Innenfläche streckenweise aus isolierten Elementen, sondern sie stellt auch keine einheitliche Ebene dar, sondern gliedert sich in eine Unmenge von einzelnen Terrassen, die verschiedene Niveaus einhalten. Diese sind von sehr mannigfacher, zum Teil äußerst unregelmäßiger Gestalt, die in dem Gesamtbild der Maserung ihren Ausdruck findet. In der Schalenperipherie handelt es sich um wellig umgrenzte bandartige Zonen, die gleich unendlich flachen Treppenstufen übereinander gestaffelt sind, im mittleren Teil der Schale dagegen um sehr viel verwickeltere Gestalten, etwa rundliche Terrassen, an deren Abhängen die Stufen oft sehr wechselnde Breite einhalten. Diese verschiedenen Bezirke hängen vielfältig miteinander zusammen, indem sie gewisse Niveaus gemeinsam haben, und die ganze Erscheinung erfährt noch dadurch eine Verwicklung, daß die Terrassen nicht stets sprungweise ihre Niveaudifferenz ausgleichen, sondern an manchen Stellen ganz allmählich ineinander übergehen.

Wesen und Bedeutung der Wachstumszonen und damit auch die Berechtigung ihres Namens ergibt sich aus einer Betrachtung ihres feineren Aufbaues.

3. Der Aufbau der Elementarlamellen.

Ein tieferes Eindringen in das Verhalten der Wachstumszonen erfordert die Anwendung starker und stärkster Vergrößerungen. Wenn solche auch mittels des Opakilluminators zu gewinnen sind, so habe ich doch im allgemeinen hierfür Schliffpräparate vorgezogen, die durch Abtragen der Schale von außen hergestellt waren. Sie liefern die überzeugendsten Bilder, daß der Aufbau der Perlmuttersubstanz am freien Rand einer jeden Stufe des Terrassensystems, d. h. in den Wachstumszonen, vor sich geht, indem hier neue Elementarbestandteile

auftreten, heranwachsen und miteinander verschmelzen.

Diese Vorgänge lassen sich am besten dort verfolgen, wo der dunkle Anteil der Wachstumszonen möglichst breit erscheint; hier spielen sie sich schrittweise ab, so daß ihre Deutung nicht die mindeste Schwierigkeit darbietet. Ist dagegen der dunkle Anteil schmal, so werden die einzelnen Etappen des Wachstums- und Verschmelzungsprozesses stark zusammengedrängt, und solche Fälle haben offenbar manchen Forschern zu der irrigen Identifikation der Wachstumszonen mit den später zu besprechenden Niveaulinien des Flachschliffes und der Perlmutterspaltblättchen Veranlassung gegeben.

Fälle der erstgenannten Art bieten übereinstimmend bei zahlreichen Formen folgendes Bild (vgl. Fig. 3 *Nucula*, Fig. 4 *Margaritana*, Fig. 7 *Pinna*, Taf. 1).[1] Am äußersten freien Rand der Wachstumszone finden sich in weitem Abstand voneinander kleinste Gebilde, die auf der anschließenden, niedrigeren Terrasse festsitzen. Je mehr man sich von hier aus dem geschlossenen Anteil der Zone nähert, um so größer werden sie und damit naturgemäß ihre gegenseitigen Abstände um so kleiner. Bald schon erscheinen sie als ganz flache Scheibchen, deren genauere Umrißformen zunächst einmal außer acht bleiben sollen. Hier und da berühren sie sich zu zweien und dreien. Derart entstandene Gruppen wachsen in ihrer Peripherie weiter und verschmelzen wiederum miteinander, und ergeben so größere unregelmäßig konturierte Komplexe, die schmale, spaltartige Lücken zwischen sich frei lassen. Indem diese Komplexe weiter an Umfang zunehmen, kommt es stellenweise zu einem Verschluß der Spalten. So bildet sich allmählich eine zusammenhängende Lamelle, die nur noch von kleinen Lücken hier und da durchsetzt ist, und damit sind wir bereits in den hellen Anteil der Zone hinein gelangt. Auch die letzten Lücken verengern sich weiter, bleiben eine Zeitlang noch gut als feine Linien sichtbar, werden dann aber gewöhnlich fast unkenntlich.

---

1) Hier sei auch darauf hingewiesen, daß die verschiedenen, übereinander liegenden Elementarlamellen in den Abbildungen dadurch gekennzeichnet sind, daß die obersten am stärksten getönt erscheinen, die tiefer gelegenen schrittweise lichter werden, gleichsam als ob der Schliff mit der zunehmenden Zahl der übereinander befindlichen Lamellen weniger durchsichtig würde.

Die Beobachtungen lehren aufs deutlichste, daß die Perlmuttermasse aus kleinen isolierten Anlagen hervorgeht, die heranwachsen und miteinander verschmelzen; wir bezeichnen diese Bauelemente der Perlmuttermasse als Perlmutterblättchen und die durch ihr Zusammentreten in einfacher Lage gebildete dünne Perlmutterschicht als Elementarlamelle.

Wenn der Versehmelzungsprozeß sich sehr langsam vollzieht, kann es vorkommen, daß die helle Zone einer Stufe überhaupt keine völlig geschlossene Fläche darstellt, sondern — lange Zeit — größere Lücken umschließt. Alsdann sieht man (Fig. 6, Taf. 1 *Pinna*), daß schon wieder neue Anlagen von Perlmutterblättchen auf der noch unfertigen Elementarlamelle erscheinen. So wird dann eine weitere Elementarlamelle angelegt, zugleich aber die alte weitergeführt, und demnach spielt sich unter solchen Umständen das Wachstum der Perlmuttermasse an ein und derselben Stelle in verschiedenen Niveaus ab: mehrere übereinander geschichteten Elementarlamellen wachsen gleichzeitig. Dieses Verhalten ist vor allem für *Pinna* charakteristisch und soll später eine eingehendere Darstellung erfahren; es findet sich aber auch bei anderen Tieren weniger ausgesprochen.

Sehr häufig kann man feststellen, daß bei der Verschmelzung der Anlagen gewisse Richtungen bevorzugt werden, indem die wachsenden Perlmutterblättchen in Reihen erscheinen (vgl. insbes. Fig. 8, Taf. 1 *Pinna*). Mit dieser Reihenstellung hängt eine zarte parallele Streifung aus ziemlich breiten verwaschenen Linien zusammen, die bei Einstellung etwas unter der Oberfläche, besonders gut bei *Meleagrina* (Fig. 2 u. 9, Taf. 1), sichtbar ist. Da es sich bei dieser „Reihenstreifung“ um eine innere Struktur handelt, die auch dem Flachschliff eigentümlich ist, so soll ihre genauere Schilderung dort Platz finden.

Bei *Meleagrina* (Fig. 9. Taf. 1) können größere Strecken der Innenfläche als einheitliche Ebene erscheinen, die aber in gewissen Abständen von Reihen geradlinig begrenzter Lücken durchsetzt wird. Hier hält offenbar eine Anzahl von Wachstumszonen das gleiche Niveau ein. Derartige Wachstumszonen vergrößern sich nach beiden Seiten hin und stoßen schließlich zusammen.

Obwohl die Perlmutterblättchen im allgemeinen so innig zusammentreten, daß ihre Grenzen in der fertigen Elementarlamelle unkenntlich werden, darf doch dieser Vorgang keineswegs als eine

Verschmelzung aufgefaßt werden, die mit dem Aufgeben der Individualität der einzelnen Blättchen endigt. Vielmehr lassen sich die Grenzen stets durch Ätzung wieder zum Vorschein rufen, wie sie gelegentlich (z. B. *Crenatula* Fig. 34, Taf. 3) dauernd kenntlich bleiben. Die Gesamtheit der Grenzen bildet eine zarte netzartige Zeichnung der Elementarlamelle, die Flächenfelderung heißen soll. Als eine Eigentümlichkeit der fertigen Elementarlamellen wird sie uns bei der Betrachtung der Flachschliffe noch weiter beschäftigen. Die Zusammensetzung einer Lamelle aus Perlmutterblättchen offenbart sich bisweilen schon bei mäßiger Vergrößerung im auffallenden Licht (Opakilluminator), indem die einzelnen kleinen Feldchen das Licht etwas verschieden reflektieren, was im ganzen ein fein geflecktes Aussehen der Elementarlamelle erzeugt (Textfig. H, *Meleagrina*).[1])

Nach solch eingehender Behandlung jener Fälle, in denen der Aufbau einer Elementarlamelle, räumlich über ein größeres Gebiet verteilt, sich allmählich vollzieht, bietet auch das Zusammendrängen und Ausfallen einzelner Entwicklungsstufen der Blättchen dem Verständnis kaum mehr Schwierigkeiten (Textfig. J, *Meleagrina*). Das Wesen der Erscheinung ist das gleiche geblieben: jede Lamelle dehnt sich am Rande fortwährend über ihre Unterlage mehr und mehr aus, indem immer wieder von neuem junge Anlagen von Perlmutterblättchen erscheinen, sich vergrößern und ihr anschließen. Manchmal finden sich die jüngsten Anlagen nur spärlich; das Bild wird vielmehr von den älteren, bereits zu mehr oder minder umfangreichen Komplexen vereinten beherrscht (Fig. 2, Taf. 1, *Meleagrina*). Treten auch diese noch zurück, so daß völlig isolierte Anteile einer Wachstumszone kaum mehr vorhanden sind, dann kennzeichnen nur noch tief und unregelmäßig einschneidende Buchten und zahlreiche kleine

1) Neumann (a. a. O.) erwähnt, daß man bei geeignetem Lichteinfall auf der Oberfläche der Perlmutterlage zuweilen ein punktförmiges, farbiges Flimmern in breiter Ausdehnung wahrnehmen kann, eine Erscheinung vollkommen gleich derjenigen, die eine matte Glasplatte oder eine entwickelte Lichtbildplatte im reflektierten Sonnenlicht zeigt. Wahrscheinlich habe man es hier wie dort mit Beugungserscheinungen an kleinen diskreten Teilchen, vielleicht an den einzelnen Kristallen des kohlensauren Kalkes zu tun. Dieses Phänomen ist offenbar dem hier unter Benutzung des Opakilluminators beobachteten verwandt, bei dem die einzelnen Teilchen — die Perlmutterblättchen — infolge der Vergrößerung getrennt zu sehen sind, und die Vermutung von Neumann also richtig.

Spaltlücken den Wachstumsvorgang (*Barbula*, Fig. 1, Taf. 1). Diese Konturierung, entsprechend dem Aufbau aus einzelnen Perlmutterblättchen, läßt aber auch hier keinen Zweifel aufkommen, daß es sich um ein weiter fortgeschrittenes Stadium des oben geschilderten Verschmelzungsvorganges handelt. Doch kann die ursprüngliche Anlage noch weniger angedeutet sein, indem Lücken und Flächen-



Fig. H.

Wachstumszonen von *Meleagrina margaritifera*. Zusammensetzung der sich treppenförmig überlagernden Elementarlamellen aus den Perlmutterblättchen kenntlich. Mittlere Vergrößerung. Auffallendes Licht, Opakilluminatoraufnahme von E. Leitz, Wetzlar.

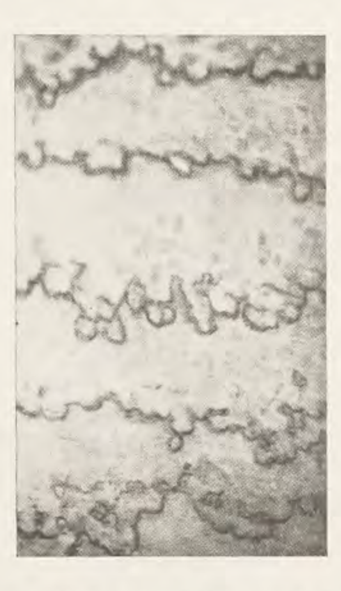


Fig. J.

Wachstumszone von *Meleagrina margaritifera*. Freier Rand der Elementarlamellen mit vorgelagerten isolierten Perlmutterblättchen. 350 : 1. Auffallendes Licht, Opakilluminatoraufnahme von E. Leitz-Wetzlar.

felderung zeitig schwinden und nur eine zackige Ausbildung des freien Randes der Elementarlamelle übrig bleibt (Textfig. H u. J), die dann große Ähnlichkeit mit einer künstlich erzeugten „Niveaulinie“ gewinnt.

Die letzt geschilderten Zustände können in verschiedener Weise erklärt werden. Entweder treten die Anlagen der Perlmutterblättchen überhaupt nur auf einem sehr schmalen Streifen auf, oder aber

ihre Neubildung ist eine gewisse Zeitlang unterblieben und während dieser sind die bereits vorhandenen Anlagen bis zur völligen Verschmelzung fortgeschritten. Die letzte Möglichkeit scheint mir die größere Wahrscheinlichkeit für sich zu haben und am einfachsten der Tatsache gerecht zu werden, daß man so verschiedene Zustände an derselben Schale nebeneinander vorfinden kann.

Prüfung zahlreicher Formen der verschiedensten Familien hat mich überzeugt, daß die Bildung der Elementarlamellen in der vorstehend beschriebenen Art in ihren Grundzügen eine regelmäßige, überall zu beobachtende Erscheinung ist, ganz allgemein gesprochen, die normale Art des Perlmutterwachstums darstellt. Diese Folgerung erscheint ja auch wohl selbstverständlich, wenn man das allgemeine Vorkommen von Wachstumsmaserung und Wachstumszonen bedenkt. Er gilt auch für die Perlen (Fig. 35, Taf. 3, *Margaritana*).

Die bisherigen Ergebnisse führen uns also zu folgender Vorstellung von der Bildung der Perlmuttersubstanz. Ihr Wachstum erfolgt diskontinuierlich, gleichzeitig an überaus vielen Stellen des Schaleninneren und zwar am freien Rand der Wachstumszonen. Hier treten immer wieder von neuem die Elementarbestandteile der Perlmutter, die Perlmutterblättchen, auf. Ihre frühesten Anlagen sind durch Zwischenräume voneinander getrennt; größer werdend verschmelzen die Blättchen allmählich mit ihren Rändern und liefern so, in einfacher Schicht nebeneinander liegend, eine sehr dünne Elementarlamelle, die ihre zusammengesetzte Natur durch Flächenfelderung zu erkennen geben kann. Da die Wachstumszonen meist verschiedenen Niveaus entsprechen und immer sehr zahlreich sind, wird die Innenfläche der Schale jeweils keineswegs von einer einzigen Elementarlamelle gebildet, sondern der Aufbau der Schale an verschiedenen Stellen in verschiedenen Terrassen gleichzeitig weitergeführt; ja an derselben Stelle können mehrere übereinander gelegene Elementarlamellen zugleich ihrer Vollendung entgegengehen, indem die unteren sich noch nicht völlig geschlossen haben, wenn bereits wieder neue kleine Anlagen von Perlmutterblättchen auf ihnen erscheinen. Wenn auch die hier mitgeteilten Beobachtungen erst voll ausgenützt werden können im Zusammenhang mit den Bildern am Flach- und insbesondere am Querschliff, so dürfte doch bereits so viel ersichtlich sein, daß die landläufige Vorstellung, daß

eine geschlossene Perlmutterlamelle nach der anderen und stets der ganzen Schalenfläche entsprechend auf der Innenseite angelagert wird, mit den Tatsachen unvereinbar ist.

4. Die Kristallformen der Perlmutterblättchen.

Unser Verständnis des Perlmutterwachstums wird ganz wesentlich vertieft durch den Nachweis, daß die Perlmutterblättchen nichts anderes als Aragonitkristalle sind, ein Nachweis, der hier hauptsächlich auf Grund ihrer Formen geführt werden soll, aber durch die optische Untersuchung eine vollkommene Bestätigung erfährt. Da die polarisationsmikroskopischen Beobachtungen an anderer Stelle im Zusammenhang folgen, wird auf sie einstweilen nur insoweit eingegangen werden, als unbedingt erforderlich ist.

Fassen wir zunächst die Formen der Perlmutterblättchen ins Auge, bevor sie miteinander verschmelzen: teils sind sie rundlich (z. B. Fig. 2, Taf. 1, *Meleagrina*; Fig. 33, Taf. 3, *Pinna*), teils aber ganz ausgesprochen geradlinig begrenzt (z. B. Fig. 5—8, Taf. 1 u. Fig. 28—32, Taf. 3). Unter den rundlichen Scheibchen walten annähernd kreisförmige vor; doch begegnet man gelegentlich elliptischen, auffällig gestreckten Gebilden (Fig. 33, Taf. 3). Zwischen rundlichen und eckigen Perlmutterblättchen gibt es nun alle erdenklichen Übergänge: bald kann man bei aufmerksamem Suchen mit starken Vergrößerungen unter rundlichen Blättchen hier und da ganz leicht gekantete entdecken (Fig. 3, Taf. 1, *Nucula*), bald stößt man auf Wachstumszonen (vgl. Fig. 4, Taf. 1, *Margaritana*), bei denen solche rundlich polygonalen Formen überwiegen, bald aber bieten sich dem Beschauer überaus regelmäßige Gestalten dar (Fig. 5—8, Taf. 1, *Pinna*), bei denen nach dem ersten Blick kein Zweifel sein kann, daß es sich um Kristalle handelt. Die Bilder sind im letzten Falle außerordentlich zierlich: weite Strecken des Gesichtsfeldes sind von kleinen Polygonen besät, deren Seiten durchaus geradlinig erscheinen und in scharf ausgeprägten Winkeln von bestimmter Größe zusammenstoßen.

Die genannten Übergänge lehren, daß auch die rundlichen Formen der Perlmutterblättchen Kristallindividuen mit gerundeten Flächen bzw. stark abgestumpften Winkeln und nicht etwa Sphärokristalle sind, wie man zunächst allein nach ihrer Gestalt vielleicht glauben könnte (treten doch „Calco-

sphäriten“ überaus häufig bei Kristallisation von Kalksalzen in kolloidalen Lösungen auf).

Wer mit den Formen der Aragonitkristalle vertraut ist (vgl. S. 14), wird auch ohne optische Prüfung, leicht ihre verschiedenen, in den Perlmutterblättchen vorliegenden Gestalten deuten können. Immer handelt es sich um tafelig nach der Basis ausgebildete Kristalle; d. h. die Fläche der Scheibchen entspricht der rhombischen Basis; das ergibt sich aus der Möglichkeit, das Achsenbild an einer flach liegenden Lamelle der wachsenden Perlmutter zu beobachten. Die seitliche Begrenzung der tafeligen Scheibchen zeigt nun mancherlei Variationen, in dem bald Rhomben, bald Sechsecke, bald Rechtecke und Quadrate, seltener Achtecke vorliegen.

Als Grundform aller dieser Gestalten gilt uns das rhombische Prisma, das sehr häufig in der schönsten Weise entwickelt ist (*Pinna inflata*, Fig. 6, Taf. 1). Mißt man den charakteristischen stumpfen Winkel nach, der an den Enden der kurzen Diagonale liegt, so stößt man auf Werte, die sich sehr nahe um 116^0 herum bewegen. Auf kleinere Abweichungen darf man nicht zu viel Gewicht legen, da die Genauigkeit der Messungen unter so starken Vergrößerungen und an derart kleinen Gebilden schon erhebliche Fehler (perspektivische Verzerrung) zeigen muß, wenn die Basis des Kristalls nicht genau senkrecht zur optischen Achse des Mikroskops liegt. Schon die allerkleinsten Anlagen der Perlmutterblättchen lassen bisweilen in größter Schärfe die Form des rhombischen Prismas erkennen (Fig. 6, Taf. 1). Verzerrungen infolge ungleicher Zentraldistanz der Flächen sind beim rhombischen Prisma selten.

Wohl die häufigste Kristallgestalt der Perlmutterblättchen ist die Kombination des rhombischen Prismas mit der Längsfläche, welche rechtwinklig zur langen Diagonale die spitzen Winkel abstumpft und so aus dem Rhombus ein (symmetrisches) Sechseck hervorgehen läßt. Die relative Größe der Längsfläche schwankt außerordentlich und nicht gar selten ist sie nur an dem einen Ende der Makroachse ausgebildet. In diesem letzten Falle ist die Längsfläche vor allem bei geringer Ausbildung ohne weiteres sicher kenntlich. Fig. 6 (Taf. 1), zeigt eine Anzahl von derartigen Rhomben, die nur einseitig am spitzen Winkel abgestumpft sind, andere mit beiderseitiger Ausbildung der Längsfläche; derartiges Verhalten kehrt auch in Fig. 30, Taf. 3 (*Meleagrina*) mehrfach wieder. Ist die Längsfläche so stark entwickelt, daß ihre

Breite der Prismenfläche gleichkommt, dann entstehen scheinbar reguläre Sechsecke (Fig. 4, Taf. 1, *Margaritana*; Fig. 7, Taf. 1, *Pinna*); ohne genaue Winkelmessung oder, was leichter durchzuführen ist, ohne optische Unterscheidung der Makro- und Brachydiagonale läßt sich natürlich in solchen Fällen der Form nach nicht mehr mit Sicherheit sagen, was Längs- und was Prismenflächen sind. Allerdings werden (infolge der gleich zu schildernden Parallelanordnung) in der Nachbarschaft gelegene Kristalle mit etwas schwächerer oder stärkerer Ausbildung der Längsfläche öfter auch für die Deutung nach der Form allein hinreichende Anhaltspunkte geben. Überwiegt die Ausbildung der Längsfläche diejenige des Prismas, dann bieten sich Gestalten wie in Fig. 28, Taf. 3 (*Mytilus*) dar: Sechsecke, deren schlanken Habitus die beiden Längsflächen bestimmen. Bei der Kombination des rhombischen Prismas mit der Längsfläche treten nicht selten verzerrte Kristalle auf (Fig. 30 u. 31, Taf. 3).

Kombinationen des rhombischen Prismas mit der Querfläche (vgl. Textfig. B *4*) oder Sechsecke mit Abstumpfung rechtwinklig zu den Enden der Brachydiagonale, scheinen bei den Perlmutterblättchen nicht vorzukommen; denn bei einigermaßen kräftiger Ausbildung der Querfläche würden auffallend schlanke Kristallformen gegeben sein, die kaum zu übersehen wären.

Dagegen finden sich häufig an den Perlmutterplättchen Längs- und Querfläche zugleich und zwar als die einzigen die Basis begrenzenden Flächen ausgebildet. Das ist vor allem für *Pinna* charakteristisch (Fig. 5 u. 8, Taf. 1; Fig. 21 u. 22, Taf. 2; Fig. 32, Taf. 3). Diese Kombination erscheint unter der Form rechtwinkliger, viereckiger Täfelchen. Meist handelt es sich um schlanke Rechtecke (Fig. 5 u. 8, Taf. 1), deren größere Seite gemäß optischer Prüfung als Querfläche aufzufassen ist (vgl. Textfig B *6*). Doch gibt es auch quadratische Gestalten, bei denen Längs- und Querfläche von gleicher Breite sind (Fig. 5, Taf. 1). Daß die Längsfläche stärker als die Querfläche entwickelt ist (vgl. Textfig. B *7*), kommt nur selten vor; einen besonders interessanten Fall dieser Art werden wir später zu besprechen haben; derartige Kristalle lassen sich von den eben genannten Rechtecken natürlich nur optisch etwa durch Bestimmung der Achsenebene unterscheiden.

Ganz ausnahmsweise begegneten mir unter den Perlmutterblättchen achteckige Gestalten, die als Kombination der Prismenfläche mit der Längs- und Querfläche gelten müssen (Fig. 7, Taf. 1, *Pinna inflata*, Mitte des Unterrandes, und

Fig. 29, Taf. 3, *Mytilus*). Die beiden größten Seiten dieser Achtecke sind die Längsflächen, die mittleren die Querflächen und die 4 kleinen die Prismenflächen. Gelegentlich wird die Querfläche nur einseitig ausgestaltet (Fig. 29, Taf. 3).

In rundlich begrenzten Perlmutterblättchen kann natürlich die Brachy- und Makrodiagonalenrichtung nur durch optische Prüfung erkannt werden. Bei den schlanken elliptischen Blättchen von *Pinna nobilis* (Fig. 33, Taf. 3) entspricht gemäß optischer Untersuchung der große Ellipsendurchmesser der Brachydiagonale.

Die verschiedenen Gestalten der Perlmutterblättchen können bei ein und derselben Art nebeneinander vorkommen; nur die rechteckigen und quadratischen Formen sind mir einzig bei *Pinna*-Arten und zwar als vorwiegende Erscheinung begegnet.

Falls die Kristallformen gut ausgeprägt vorliegen, läßt sich eine gesetzmäßige Anordnung der in Bildung begriffenen Perlmutterblättchen nicht verkennen: die Kristallindividuen sind über größere Flächen hin parallel gestellt. Diese Tatsache springt bei den meist vorhandenen sechseckigen Gestalten weniger in die Augen (Fig. 7, Taf. 1, *Pinna inflata*) als bei den rhombischen und rechteckigen Formen (Fig. 5, 6 u. 8, Taf. 1, *Pinna*); gerade sie verleiht den Bildern ihre außerordentliche Zierlichkeit. Am auffälligsten ist sie wohl bei den schlanken Rechtecken, die der Kombination von Längs- und Querfläche entsprechen; sie erscheinen in langen Reihen hintereinander gestellt, die unter sich parallel verlaufen (Fig. 8, Taf. 1). Diese gesetzmäßige Anordnung der Individuen prägt sich auch bei den elliptischen Perlmutterblättchen gut aus (Fig. 33, Taf. 3). Da mit der Parallelstellung der Kristalle natürlich ebenfalls eine Übereinstimmung in ihren optisch verschiedenen Richtungen erzielt wird, so muß sich dieses Verhalten auch unter dem Polarisationsmikroskop bemerkbar machen; derart läßt sich erweisen, daß ebenfalls bei den rundlich begrenzten Perlmutterblättchen (optische) Parallelität vorherrscht.

Mathematisch genau ist die Parallelanordnung der heranwachsenden Perlmutterblättchen wohl niemals; das ergibt sich schon ohne genauere Messung nach dem Augenschein. Ja gelegentlich treten geringere oder größere Störungen derselben ein, die schließlich zur völligen Regellosigkeit der Lagerung der einzelnen Kristalle führen können (Fig. 32, Taf. 3, *Pinna*). Aber derartige Vorkommnisse stellen doch immer nur Ausnahmen dar. Im allgemeinen ist die Ausrichtung der Perlmutterblättchen mindestens so genau,

daß die vorherrschende Richtung ohne sonderliche Mühe und ohne Zuhilfenahme polarisierten Lichtes festgestellt werden kann, und in sehr vielen Fällen drängt sie sich dem Beschauer geradezu auf. Die Parallelenordnung beschränkt sich keineswegs auf eine einzelne Wachstumszone, sondern läßt sich über zahlreiche Zonen hinweg im gleichen Sinne (vgl. Fig. 5, Taf. 1) verfolgen; wieweit sie der Schale im ganzen zukommt, soll später im besonderen betrachtet werden.

Aus dem Vorstehenden folgt, daß die heranwachsenden Perlmutterblättchen, wenn sie beim Größerwerden zusammenstoßen, mehr oder minder genau kristallographisch (= optisch) parallel orientiert miteinander verschmelzen müssen, und unter einem solchen Gesichtspunkt kann man mit großer Annäherung behaupten, daß die Bildung einer Elementarlamelle auf einer Parallelverwachsung von Aragonitkristallen beruht. Das läßt sich nun auch im einzelnen auf Schritt und Tritt beobachten. Die rhombischen Formen (Fig. 6, Taf. 1) fügen sich häufig in Richtung der Makrodiagonale zu Reihen zusammen. Bei Weiterwachsen derartiger Reihen kommt an den gegenseitigen Berührungspunkten die Längsfläche zur Ausbildung, wie man dann sehr häufig Reihen von sechseckigen Kristallen begegnet, die in Richtung der Makrodiagonale aneinanderschließen (Fig. 7, Taf. 1). Auffällig ist auch die Reihenstellung bei rechteckigen Kristallgestalten, meist ebenfalls in Richtung der Makrodiagonale (Fig. 8, Taf. 1), als seltene Ausnahme aber auch längs der Brachydiagonale.

Bei den (größeren) Aragonitkristallen, die wir als Produkte der anorganischen Natur kennen, ist Zwillingsbildung, d. h. eine Verwachsung derart, daß die betreffenden Individuen nicht mit allen gleichwertigen Richtungen parallel stehen, sondern nur eine Ebene gemeinsam haben (gewöhnlich die Prismenfläche), überaus häufig. Solche Verwachsungen zweier, dreier oder noch mehr Individuen (wiederholte Zwillingsbildung, polysynthetische Kristalle), liefern eine außerordentliche Fülle von Gestalten (man vgl. z. B. bei Leydolt 1856), deren Zusammensetzung äußerlich nicht immer erkennbar zu sein braucht, indem z. B. der Umriß des zusammengesetzten Kristalls außerordentlich an den eines einzelnen sechseckigen Individuums erinnern kann. Die wirkliche Natur dieser Bildungen läßt sich nur im polarisierten Licht oder durch Ätzversuche erweisen. Da eine optische Untersuchung von einzelnen heranwachsenden Perlmutterblättchen, bzw. Komplexen von solchen,

losgelöst von ihrer Unterlage, nicht möglich ist und mir Ätzversuche an diesen winzigen Kristallen nie gelangen, bin ich für die Beurteilung dieser Frage nur auf die Formen der Kristalle angewiesen; diese geben ja für die rhombischen und rechteckigen Formen ganz unzweideutige Aufschlüsse; eine gewisse Unsicherheit könnte höchstens für sechseckige Gestalten bestehen bleiben. Darnach muß ich schließen, daß bei der normalen Perlmutterbildung Entstehung von Zwillingen im weitesten Sinne des Wortes eine sehr untergeordnete Rolle spielt, daß insbesondere der Verwachsungsvorgang im allgemeinen als eine angenäherte Parallelverwachsung gelten muß, wie bereits oben im einzelnen ausgeführt wurde. Nur dann, wenn scheinbare Einzelkristalle eine Größe erreichen, die über das Durchschnittsmeer der Perlmutterblättchen wesentlich hinausgeht, liegt Verdacht auf polysynthetische Bildungen vor (vgl. Fig. 24, Taf. 2 und S. 51).

Sind die Kristalle gut ausgebildet, dann besitzen auch die Lücken, die zunächst noch in den Elementarlamellen vorhanden sind, ungemein charakteristische Umrisse (Fig. 6, Taf. 1, *Pinna* u. Fig. 30, Taf. 3, *Meleagrina*): sie sind von scharfen, bald ein-, bald ausspringenden Zacken begrenzt, an denen die typischen Winkel vielfältig wiederkehren. Erst bevor sie sich ganz schließen, nehmen die Konturen mehr oder weniger bogigen Verlauf an. Das ist naturgemäß von vornherein der Fall, wenn die Kristalle gerundet sind. Vor allem bei sechseckigen Perlmutterblättchen (Fig. 3 u. 7, Taf. 1) beobachtet man die Abrundung der Kristalle bereits, wenn sie beginnen, zu Komplexen zusammenzutreten. So wird es verständlich, daß die Flächenfelderung vielfach gerundete, nicht geradlinig begrenzte Maschen aufweist. Die Kristallflächen der Perlmutterblättchen gehen eben in den letzten Stadien des Wachstums durch Abrundung vielfach verloren, auch wenn sie zunächst vorhanden waren und an ihre Stelle treten dann Flächen, die nur durch die Wachstumsbeschränkung benachbarter Kristalle hervorgerufen werden, teils gekrümmt, teils gerade erscheinen, aber keine gesetzmäßige Beziehung zum Kristallsystem mehr besitzen. Solche Flächen pflegt man als Kontaktflächen zu bezeichnen. Auch Störungen der Parallelanordnung der heranwachsenden Perlmutterblättchen tragen zur Entstehung unregelmäßiger Grenzflächen bei. Die hier erörterten Verhältnisse sind wichtig für die Er-

klärung der Formen von Perlmutterblättchen, die durch Mazeration mit Kalilauge aus der fertigen Substanz isoliert werden.

Schließlich noch ein paar Bemerkungen über gelegentlich zu beobachtende Strukturen an den einzelnen Perlmutterblättchen. Im allgemeinen zeigen sich an ihnen ebensowenig Anzeichen eines feineren Aufbaues als an normal entwickelten Kristallen, die außerhalb des Organismus entstehen. In einzelnen Fällen erscheint aber in der Mitte der Kristalle ein Bildungszentrum, das sich von ihrer übrigen Masse unterscheiden läßt; solche Vorkommnisse sind wohl auf eine Störung bzw. Unterbrechung des kontinuierlichen Wachstums zurückzuführen. Ferner sah ich besonders bei jungen *Mytilus* die Kristalle von den Seiten her vielfach radiär eingekerbt, was in Fig. 31 (Taf. 3) an einem Kristall teilweise wiedergegeben ist. Hier mag auch die Beobachtung Platz finden, daß bisweilen Perlmutterblättchen vorkommen, die nur an einigen Flächen geradlinig vom Prisma usw. an anderen aber rundlich oder ganz unregelmäßig begrenzt sind (vgl. Fig. 29, 34, 35, Taf. 3); da die Anlagen sich hier noch nicht gegenseitig berühren, handelt es sich bei diesen Flächen nicht um Kontaktflächen, sondern ebenfalls um Störungen des regulären Wachstums.

Fassen wir die wichtigsten Ergebnisse dieses Abschnittes kurz zusammen. Die Anlagen der Perlmutterblättchen sind tafelig nach der Basis ausgebildete Aragonitkristalle, seitlich begrenzt vom rhombischen Prisma oder von diesem und der Längsfläche, oder außerdem von der Querfläche, oder schließlich nur von Längs- und Querfläche. Mangelhafte Ausbildung der seitlichen Flächen führt zur Entstehung rundlicher oder länglicher (elliptischer) Scheibchen, die demnach nicht als Sphärokristalle aufgefaßt werden dürfen. Diese Kristalle erscheinen über größere Schalenstrecken hin, und zwar auch in übereinander gelegenen Elementarlamellen kristallographisch (optisch) mehr oder minder genau parallel geordnet. So kommt es beim Größerwerden der Kristalle durch Parallelverwachsung zur Bildung der Elementarlamellen. Infolge der Abrundung der Kristalle, die in späteren Stadien ihres Wachstums auch dann eintritt, wenn die Blättchen vorher seitlich von gut entwickelten Kristallflächen begrenzt waren, sind die endgültigen Grenzen der Perlmutterblättchen, wie sie in der Flächenfelderung vorliegen, größtenteils Kontaktflächen. Endlich sei schon hier betont, daß die

Parallelstellung der Anlagen durch die molekulare Richtkraft der bereits vorhandenen Kristalle (sowohl der älteren Anteile der gleichen Elementarlamelle, als auch der darunter gelegenen Lamelle, welche die Unterlage für die neu sich ausscheidenden Kristalle abgibt) bedingt ist.

5. Das Wachstum am Schalenrand.

Besondere Aufmerksamkeit verdient das Verhalten der Perlmutterlage am Schalenrand, wo sie, sich immer mehr in der Fläche ausdehnend, über die Prismenschicht vorschiebt. Während im übrigen die neu auftretenden Perlmutterblättchen bereits vorhandene Perlmuttermasse als Unterlage vorfinden, müssen sie hier auf der Prismenschicht Fuß fassen, und damit bilden sich Beziehungen zwischen der Prismen- und Perlmutterlage aus, die recht verwickelte Bilder darbieten. Nachdem der Zusammenhang beider einmal hergestellt ist, bleibt er natürlich dauernd unverändert bestehen, indem die ersten dünnen Auflagerungen von Perlmutter auf die Prismen, beim Dickenwachstum der Schale nach und nach von weiteren Perlmutterschichten überdeckt werden. Daher lassen sich die Beziehungen zwischen beiden Schalenlagen an jeder beliebigen Schalenstelle auf Querschliffen (an der Prismen-Perlmuttergrenze) beobachten; doch wird ihre Deutung außerordentlich erleichtert und gesichert, wenn man die Flächenansicht dieses Grenzgebietes, wie sie in der Schalenperipherie ohne weiteres zutage tritt, mit dem Querschnittsbild vereinigt. Am besten stellt man einen (radial zum Rand orientierten) Querschliff durch die Schalenperipherie her und verarbeitet das unmittelbar neben ihm gelegene Gebiet zu einem Flächenpräparat, indem die Schale von außen her bis zu hinreichender Durchsichtigkeit abgeschliffen wird.

Hier sei zunächst daran erinnert [1]), daß die Prismen der Muschelschalen trotz weitgehender Ähnlichkeit in der äußeren Erscheinung zweierlei Art sind: bei den Unioniden Sphärokristalle von Aragonit, bei den übrigen Familien dagegen, soweit sie daraufhin überhaupt genauer untersucht sind (Aviculiden und Mytiliden), Kristallindividuen von Calcit (in einzelnen Fällen umfaßt

1) Vgl. die Zusammenfassung von BIEDERMANN (1914) und meine diesbezügliche Mitteilung: Über den kristallographischen Charakter der Prismen in den Muschelschalen", in: Ztschr. allg. Physiol., Vol. 19, 1921.

jedes Calcitprisma eine gewisse Anzahl von Kalkspatkristallen). Somit bestehen bei den Unioniden Prismen und Perlmutter in gleicher Weise aus Aragonit (allerdings in verschiedenen kristallographischen Gestalten), bei den anderen genannten Familien liegt der bemerkenswerte mineralogische Gegensatz zwischen Prismen- und Perlmutterlage vor, daß die erste Kalkspat, die letzte Aragonit darstellt.

Ferner muß zum Verständnis des Folgenden darauf hingewiesen werden, daß im Grenzgebiet die Bedingungen für die Entstehung der Perlmutter sehr labil sind, derart, daß nach dem Abscheiden einer dünnen Perlmutterschicht nochmals für kurze Zeit darüber Prismen angelegt werden können, die dann wiederum Perlmutter Platz machen. Dieser Vorgang kann sich auf einem engumschriebenen Gebiet, gewissermaßen oszillierend, mehrfach wiederholen. Regelmäßig verläuft er so, daß der Anstoß zur Prismenbildung von dem noch freiliegenden Teil der Prismenschicht ausgeht, indem diese sich zeitweise rückwärts, nach der Schalenmitte hin, ausdehnt. Daher stehen die dünnen Prismenschichten, die im Beginn der Perlmutterbildung mit dieser abwechseln können, im Zusammenhang mit der Hauptprismenschicht, spalten sich — auf dem Querschnittsbild — von hier gewissermaßen ab und sind von zahlreichen Forschern als die auskeilenden Prismenschichten beschrieben worden; der Querschnitt ihrer Prismen ist wohl stets erheblich geringer als in der Hauptprismenschicht.

Von neueren Autoren haben vor allem BIEDERMANN (1902) und RASSBACH (1912) diese Verhältnisse bei *Anodonta* in der Flächenansicht untersucht und gut übereinstimmende Ergebnisse gewonnen.[1]) Doch hat keiner der früheren Forscher der Beschaffenheit der jungen Perlmutter in diesem Gebiet besondere Aufmerksamkeit geschenkt, was insofern verständlich ist, als die auskeilenden Prismenlagen im Flächenbild prägnant hervortreten, die dünne sie überkleidende Perlmutterschicht aber nur bei sorgfältiger Einstellung auf die Oberfläche wahrnehmbar wird. Derart sind nun die Verhältnisse auf Taf. 2 zur Darstellung gebracht; indessen treten bei der Beobachtung im durchfallenden Licht auch noch tiefergelegene Strukturen ver-

1) Wenn RASSBACH (a. a. O., p. 399) gegen BIEDERMANN's Äußerung Stellung nimmt, das Flächenbild entspreche einer besonderen Struktur der Prismenschicht, deren Kalkmasse immer mehr mit organischer Substanz durchsetzt sei, so liegt darin kein Widerspruch zwischen den beiden Autoren. Denn BIEDERMANN will damit offenbar nur die Zerlegung der Prismen in kleinere durch einwachsende Conchinlamellen zum Ausdruck bringen.

schwommen hervor. Die Analyse solcher Bilder wird nicht selten dadurch beträchtlich erschwert, daß das Grenzgebiet unzureichend eben ist. —

Nach diesen Vorbemerkungen sollen die Verhältnisse im Grenzgebiet der Prismen- und Perlmuttermasse an einigen ausgewählten Beispielen besprochen werden.

Bei *Anodonta anserina* (Fig. 10, Taf. 2) setzt der Beginn der Perlmutter mit einer feinen Körnelung auf den (inneren Enden der) Prismen ein, die zunehmend an Dichtigkeit gewinnt und bald als jüngste Perlmutterlamelle geschlossen erscheint. Dieser äußersten, einer einzelnen Elementarlamelle entsprechenden, schmalen Zone der Perlmutterlage, die in leichten Wellenbiegungen dem Rand parallel läuft, fehlt naturgemäß die Wachstumsmaserung, die erst in einem gewissen Abstand einsetzt. Die mehr und mehr in die Tiefe tretende Prismenschicht schimmert verschwommen hindurch. Dabei lösen sich die Prismenpolygone allmählich auf und es hinterbleiben kleine und im Bereich der Maserung auch größere und verästelte, dunkle Flecken von unscharfer Begrenzung; sie liegen merklich unter der Oberfläche.

Querschliffe (Fig. 11, Taf. 2) geben über ihr Wesen Aufschluß. Allmählich sich verjüngend läuft die Perlmutterlage (*pe*) aus; sie wird von zahlreichen dünnen, sehr fein auskeilenden Prismenlagen durchsetzt, deren einzelne Elemente von sehr geringem Querschnitt sind. Diese auskeilenden Prismenlagen erscheinen dunkel, was durch Gasgehalt bedingt ist. Unter stärksten Vergrößerungen sieht man nämlich die die einzelnen Prismen umscheidenden und zugleich verbindenden Conchinmassen von feinen rundlichen Gebilden durchsetzt, die bei hoher Einstellung dunkel, bei tiefer hell erscheinen. In der gleichen Weise treten sie innerhalb der Hauptprismenlage auf, und besonders gut läßt sich hier ihre Anordnung zu eng aneinanderschließenden Horizontalreihen erkennen, die sich ununterbrochen entsprechend den Zuwachslinien über größere Strecken der Prismenlage ausdehnen. Schon unter schwachen Objektiven machen sich einzelne solcher Linien oder Liniengruppen durch diese Einschlüsse im Conchin auffallend bemerkbar (Fig. 11, Taf. 2). Auch in den dicken horizontalen Conchinlamellen, welche die Prismenlage in mehrere selbständige Unterabteilungen zerlegen, sind diese dunklen rundlichen Einschlüsse gelegentlich aufzufinden. Die letzte Feststellung ist insofern wichtig, als sie deutlich erkennen läßt, daß die in Rede stehenden Körperchen nicht Conchin sind, viel-

mehr Einschlüsse in demselben darstellen, die sich von ihm durch eine wesentlich geringere Lichtbrechung leicht und sicher unterscheiden lassen.

Das möchte ich vor allem im Hinblick auf die Angaben von Rassbach (1912, p. 389—390) betonen, der bei *Anodonta cellensis* Conchinkügelchen auf den Prismen fand und den unserigen ähnliche Beobachtungen von Nathusius v. Königsborn bei *Meleagrina* — wir werden später auf sie zurückkommen — im Sinne seines Befundes deuten möchte. Daß es sich bei den von uns beschriebenen dunklen Gebilden nicht um Conchin handelt, geht auch daraus hervor, daß sie beim Entkalken verschwinden. Es sind offenbar gasgefüllte Hohlräume im Conchin, die beim Entkalken durch Zerreißen ihrer Wandung eröffnet, mit Flüssigkeit erfüllt und darum schwieriger sichtbar werden. Ob es sich bei dem Gas um Luft handelt, bleibe dahingestellt. Ich habe diese Frage, weil für meine Untersuchungsrichtung von untergeordneter Bedeutung, nicht weiter verfolgt; nur soviel möchte ich noch hervorheben, daß die „Luft" keineswegs während des Schleifverfahrens in die Schale hineingelangt.

Außer Gasbläschen finden sich aber bei *Anodonta anserina* in dem die Prismen umhüllenden Conchin eingeschlossen kleinste Flüssigkeitsmengen. Da die Lichtbrechung dieser (wässerigen?) Flüssigkeit einigermaßen mit derjenigen des Conchins übereinstimmt, sind sie natürlich viel schwerer als die Gasbläschen zu beobachten. Doch verraten sie sich sehr oft dadurch, daß sich in dem Flüssigkeitströpfchen ein winziges Gasbläschen vorfindet, das (als sogenannte „Libelle") ständig in lebhafter tanzender Bewegung begriffen ist. Bei hoher Einstellung erscheint die Libelle dunkel, von einem hellen Beugungshof umgeben, den sie bei ihrer Bewegung natürlich mitnimmt; in etwas weiterer Entfernung um sie herum sieht man den zarten Kontur, der die Grenze von Conchin und Flüssigkeit angibt und bei allen Bewegungen der Libelle unverändert bleibt. Entsprechend dem geringen Durchmesser des im Conchin eingeschlossenen Flüssigkeitstropfens wandert die Libelle nie über weitere Strecken hin. Auch bei *Meleagrina* (s. u.) werden wir Flüssigkeitseinschlüsse kennen lernen.

Kehren wir nach dieser Erörterung über den Luftgehalt der Prismenschicht wieder zur Flächenansicht von *Anodonta anserina* zurück. Die dunklen Gebilde, welche wir unter der Oberfläche wahrnehmen (Fig. 10, Taf. 2), sind in die auskeilenden Prismen-

schichten eingeschlossene „Luft“massen, die sich stellenweise auch in der angrenzenden Perlmutter vorfinden. Wie der Querschliff (Fig. 11, Taf. 2) lehrt, treten die Einschlüsse nicht in kontinuierlicher Schicht, sondern vielfach unterbrochen auf, und so bieten sie sich dann auch in der Flächenansicht als diskrete Komplexe (nicht als zusammenhängende Lage) dar. Weil der Querschnitt der einzelnen Prismen in den auskeilenden Lagen viel geringer ist als in der Hauptschicht, wird es verständlich, daß man hier und dort bei Einstellung unter die Oberfläche, kleineren Prismenpolygonen begegnet als an der freiliegenden Prismenschicht. —

Die Perlmuttermasse erscheint bei *Anodonta anserina* in Form zunächst sehr kleiner und in weiten Abständen voneinander gelegener rundlicher Perlmutterblättchen (Fig. 10, Taf. 2), die wir bei schwacher Vergrößerung als die erwähnte Körnelung kennen lernten. Wo sie auf den inneren Prismenenden auftreten, da macht sich zugleich ein gewisser Überfluß an Conchin bemerkbar, indem die Lamellen, welche die Prismen trennen, dicker und unregelmäßig werden und kleine lappige Fortsätze zwischen die jungen Perlmutterblättchen entsenden (Fig. 12, Taf. 2). Zwischen den bereits herangewachsenen Perlmutterblättchen tauchen neue Anlagen auf und bald ist die ganze Fläche der Prismen von einer dichtgedrängten Schicht dieser kleinen Gebilde überzogen, die stellenweise zusammenzufließen beginnen. Damit ist eine erste Elementarlamelle gebildet. Auf ihr, also bereits auf Perlmuttergrund, legen sich neue Blättchen an und so hat die Maserung bzw. die Gliederung des Niveaus in die Wachstumszonen und Terrassen begonnen, die nun in der bekannten Weise, zunächst treppenförmig ansteigend, dann unter vielfältigem Auf- und Absteigen nach dem Innern der Schale fortschreitet. —

Wesentlich verwickelter als bei *Anodonta anserina* bieten sich die entsprechenden Bilder bei *Barbula plicatula* dar. Wiederum sind in den Abb. 13 u. 14 (Taf. 2) zwei genau zueinander gehörige Ansichten in Flach- und Querschliff zusammengestellt. Im Flächenbild (Fig. 13) folgt auf die normale Prismenschicht (*a*) eine breite Zone (*b*), innerhalb deren die Abgrenzung der einzelnen Prismen verloren geht, dann, gut hiervon abgesetzt, die Perlmutterschicht, deren Beginn durch eine dunklere Zone (*c*) ausgezeichnet ist. Halten wir dieses Bild mit dem Querschliff (Fig. 14) zusammen, so ergibt sich mühelos die Bedeutung der einzelnen hier mit den gleichen Buchstaben bezeichneten Abschnitte. Die unterste auskeilende Lage der Prismenschicht geht ziemlich unvermittelt aus den normalen Prismen

hervor, indem diese plötzlich (Grenze zwischen *a* u. *b*) sehr viel schmächtiger werden; in diesem Zustand erscheint die auskeilende Prismenschicht im Bereich *b* (Fig. 13) frei auf der Innenseite der Schale sichtbar; ihr letzter sehr fein auslaufender Abschnitt (*c*) dagegen ist bereits von einer dünnen Perlmutterlage überkleidet und schimmert in der Flächenansicht (Fig. 13) als dunkle Zone (*c*) durch diese hindurch.

Der Übergang von der Prismenschicht zur Perlmutterlage vollzieht sich im einzelnen in folgender Weise. Die Conchinlamellen, welche die normalen Prismen (*a*, Fig. 15, Taf. 2) einfassen, werden lückenhaft und unregelmäßig und zerfallen schließlich in zahlreiche kleine Stücke (*b*), die großenteils den Charakter von Lamellen aufgeben und sich als fadenartige Bestandteile in die Tiefe der Prismen einsenken. So verschmelzen denn die benachbarten Prismen miteinander zu einer mehr oder minder zusammenhängenden Masse (*b*, Fig. 15, Taf. 2). Hierbei bildet sich allmählich eine Reihenanordnung der Conchinbestandteile aus (*b*, Fig. 16, Taf. 2), die ohne Zweifel die Etappen anzeigt, in denen die auskeilende Prismenlage sich anlegte; diese Reihen verlaufen im ganzen dem Schalenrande parallel. Beim Beginn der Perlmutterlage macht sich auch hier eine reichlichere Conchinausscheidung bemerkbar, die zu einer Bildung verzweigter Figuren führt, die bereits bei schwacher Vergrößerung (Fig. 13, Taf. 2, linker Rand der Zone *b*) auffallend hervortreten, in Fig. 16 (Taf. 2) bei stärkerer dargestellt sind.

Jenseits dieser Grenze beginnt die Anlage der Perlmuttermasse (Fig. 16c, Taf. 2). Selten sind einzeln auftretende Perlmutterblättchen zu beobachten, wie das bei *Anodonta anserina* über ein größeres Gebiet hin möglich war. Sondern die A n l a g e n v e r s c h m e l z e n b e i *Barbula* f r ü h z e i t i g zu kleinen, rundlich unregelmäßigen Komplexen mit vielfach ausgebuchtetem Rand (Fig. 17, Taf. 2); indem diese sich vergrößern und neue Bildungen der gleichen Art auf ihnen erscheinen, bildet sich sehr bald die Wachstumsmaserung keraus (Fig. 16*c* u. 17, Taf. 2). Die Wachstumszonen laufen wie gewöhnlich zunächst dem Schalenrand parallel; da sie sich aber natürlich mit den Wachstumslinien der auskeilenden Prismenlage nicht decken, so kann man (in dem Gebiet *c* der Fig. 13, Taf. 2) die beiden Systeme übereinander beobachten, bei hoher Einstellung die vielfach ausgezackten Wachtumszonen der Perlmutter, bei tieferer, verschwommen durchscheinend die Wachstumslinien der auskeilenden Prismenlage (Fig. 18, Taf. 2). —

Bei *Margaritana margaritifera* sind die auskeilenden Prismenlagen ziemlich schwach entwickelt, erstrecken sich meist nicht über eine größere Strecke in die Perlmuttermasse hinein, sondern bleiben kurz. Daher ist das Flächenbild im Grenzgebiet ziemlich einfach (Fig. 19, Taf. 2). Nahe der Perlmuttergrenze beginnen die Conchinsepten zwischen den Prismen sich zu verdicken und lappige Ausläufer gegen das Innere der Polygone zu entsenden. Zwischen diesen Fortsätzen finden sich die ersten Perlmutterblättchen als rundliche Scheibchen zunächst durch reichliche Conchinmassen voneinander geschieden. Bald erfüllen sie die Mitte der Polygone und schließen zu einer einheitlichen Schicht mit deutlicher Flächenfelderung zusammen. Auf dieser ersten Elementarlamelle siedeln sich dann neue Anlagen zunächst als winzige Scheibchen an, die heranwachsend miteinander verschmelzen. So bildet sich sehr schnell die Wachstumsmaserung heraus. —

Wenden wir uns nun zu den Formen, deren Prismen einzelnen Individuen von Kalkspat entsprechen, zunächst zu *Pinna*. Ich schildere die Verhältnisse so, wie ich sie bei einem jungen, 3—4 cm langen Exemplar von *Pinna nobilis* fand. Die Perlmutterschicht legt sich in Form zerstreuter, unregelmäßig rundlicher Blättchen an, die zuerst an den die Prismen trennenden Conchinsepten zu verschmelzen beginnen (Fig. 20, Taf. 2). Wie wir schon mehrfach berichten konnten, so werden auch hier die Conchinlamellen etwas dicker und nehmen eine feinzackige Begrenzung an, entsprechend den anliegenden Perlmutterblättchen. Von den Septen aus dehnt sich die Perlmutterlage gegen das Innere der Prismenpolygone aus, wobei zunächst allerlei unregelmäßige Lücken bestehen bleiben. Noch bevor es zum völligen Schluß der ersten Elementarlamelle gekommen ist, erscheinen auf ihre neue Anlagen von Perlmutterblättchen, zunächst wiederum hauptsächlich im Anschluß an die Septen zwischen den Prismen.

Nachdem so die Wachstumsmaserung eingesetzt hat, nehmen die Perlmutterblättchen allmählich die für *Pinna* eigenartigen rechteckigen Formen an (Fig. 21, Taf. 2). Zunächst liegen die einzelnen Kristalle noch etwas regellos durcheinander, bald aber erscheint die Reihenanordnung. Der Schluß der Elementarlamellen vollzieht sich sehr langsam, und es bildet sich das für die Innenseite von *Pinna* charakteristische Relief heraus (Fig. 22, Taf. 2): Die Längsreihen der Perlmutterblättchen sind durch Furchen geschieden, die sich nach der Tiefe zu allmählich verengen. An ihren abgeschrägten

Seitenwänden sieht man eine Elementarlamelle über die andere, so fünf und mehr, vorspringen. In dem Maße, wie von der Tiefe her fortschreitend die Elementarlamellen sich schließen, erscheinen auf den Längsreihen der Perlmutterblättchen wieder neue Anlagen in Gestalt kleiner Rechtecke; größer werdend fließen sie zu den Reihen zusammen usf. Die Anwesenheit der Furchen, die sich schon bei schwacher Vergrößerung als eine zarte Streifung auf der Innenfläche bemerkbar macht, läßt ihre Gliederung in Wachstumszonen sehr stark zurücktreten, die ja auf viel geringeren Niveaudifferenzen (von je einer Elementarlamelle) beruht. Daher kann man die Wachstumsmaserung bei *Pinna* gut nur in der Nähe des dünn auslaufenden Randes der Perlmutterschicht beobachten (Fig. 5, Taf. 1), woselbst die Furchen zwischen den Längsreihen noch keine größere Tiefe erreicht haben. —

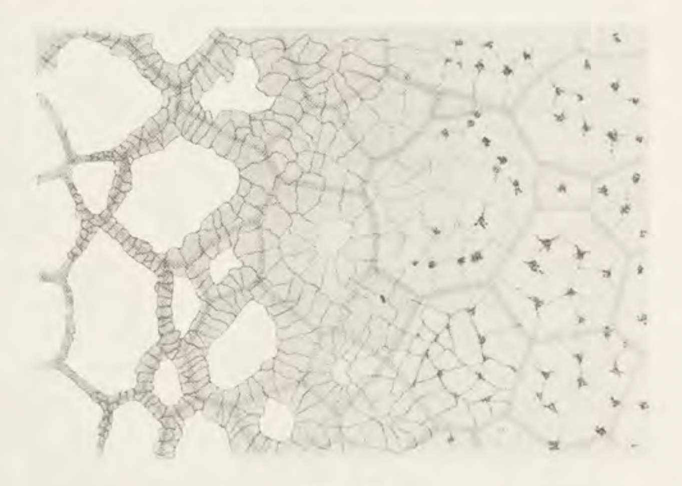


Fig. K.
Auslaufende Perlmutterlage von *Meleagrina margaritifera*. 250 : 1.

Sehr eigenartig ist das Verhalten bei *Meleagrina*, indem als erster Anfang der Perlmutter auf den Prismen nicht die bekannten, sehr kleinen Blättchen, sondern viel größere Kalkgebilde von eckigem Umriß erscheinen. Gleich jenen säumen sie zuerst den Rand der Polygone ein, schließen aber allmählich mosaikartig zusammen, um dann in noch näher zu schildernder Weise in die eigentliche Perlmuttermasse überzugehen (Fig. 23, Taf. 2). In Textfig. K ist das genannte Mosaik bei starker Vergrößerung wieder-

gegeben. Unter ihm schimmern die Grenzen der Prismen hindurch. Bemerkenswert ist, daß in einiger Entfernung vom Rande in den Knotenpunkten der Mosaikmaschen dunkle körnige Massen erscheinen, die sich nach der Tiefe zu allmählich verlieren.

Wie sind die großen Kalkplättchen zu deuten, handelt es sich um kleine Prismen oder Elemente der Perlmutter? Theoretisch ließe sich darüber ein Entscheid durch die Untersuchung ihres Achsenbildes leicht führen: Calcitprismen müßten das Bild eines einachsigen Kristalls im Gegensatz zum zweiachsigen der Perlmutter ergeben. Praktisch war das aber nicht durchzuführen.

Den früher beschriebenen Bildern würde sich dieses bei *Meleagrina* vorliegende am einfachsten anschließen lassen, wenn die Kalkplättchen als kleine Prismen zu deuten wären.

Querschliffe zeigten indessen, daß auskeilende Prismenlagen nur spärlich entwickelt werden, daß aber die Prismen (und zwar sowohl an der Hauptschicht als an den auskeilenden) mit eigentümlichen wurzelartigen Ausläufern in der Perlmuttermasse verankert erscheinen (vgl. Fig. 27, Taf. 2). Bereits NATHUSIUS v. KÖNIGSBORN (1877, p. 87) hat diese Bildungen beschrieben; wir werden gleich auf sie genauer einzugehen haben. Da sie offenbar die dunklen Flecke in der Flächenansicht erzeugen, mußten diese der Perlmutterlage eingerechnet werden. Dafür sprach ja auch die Beziehung der zuerst erscheinenden Elemente zu den Prismengrenzen (vgl. z. B. oben bei *Pinna*).

Volle Klarheit über die eigentümliche Mosaikzone brachte das Studium des Prismen-Perlmutter-Grenzgebietes bei kleineren Exemplaren von *Meleagrina* aus dem Roten Meer; hier bot sich in der Flächenansicht das Mosaik als ein sehr schmaler Bezirk dar. Die äußersten, noch isoliert liegenden Kalkplättchen waren deutlich sechseckig begrenzt (Fig. 24, Taf. 2), zum Teil mit zarter konzentrischer Schichtung versehen. Auch am freien Rand der bereits geschlossenen Mosaiklage machen sich bei einzelnen Plättchen charakteristische winklige Umrißlinien bemerkbar. Daß es sich bei diesen Plättchen um Kristalle handelt, ist demnach wohl zweifellos. Fraglich kann nur sein, ob jedes derselben ein einzelnes Individuum oder einen polysynthetischen Kristall darstellt. Für die letzte Deutung spricht nicht nur, daß man hier und dort Plättchen mit einspringenden Winkeln (Fig. 24, Taf. 2 unten rechts am Rande der geschlossenen Schicht) begegnet, sondern vor allem der Umstand, daß die Plättchen sich mit zunehmender Entfernung vom Rande all-

mählich in Aragonitkristalle von der Größenordnung der Perlmutterblättchen auflösen. Zunächst macht sich dieser Zerfall am Rande der Täfelchen bemerkbar, indem die glatten Begrenzungslinien zackig werden (Fig. 24, Taf. 2) und hier und da ein kleiner Aragonitkristall in seinen Umrissen ganz hervortritt. Mehr nach innen läßt er sich auch auf der Fläche der Täfelchen beobachten, so daß diese nach und nach von der bekannten Felderung bedeckt wird, die ihre Entstehung den Grenzen der Perlmutterblättchen verdankt. Darauf stellen sich bald die Wachstumszonen ein.

Gehen wir nun zur Betrachtung der entsprechenden Querschliffe durch die auslaufende Perlmutterschicht bei *Meleagrina* über. Wie die ersten Kristallplättchen in der Flächenansicht in Anlehnung an die Umrisse der Prismen erscheinen, so sehen wir sie auch hier zunächst vereinzelt in den verbreiterten Conchinsepten zwischen den Prismen eingelagert (Fig. 25 rechts, Taf. 2). In dem Maße, wie sie sich zusammenschließen, nehmen sie auch an Dicke zu und ihr letzt aufgelagerter Anteil läßt allmählich die feine Horizontalschichtung erkennen, die der Perlmuttermasse im Querschliff zukommt. An manchen Stellen (Fig. 26, Taf. 2) werden die Prismen auf ihrer ganzen freien Fläche von einer Conchinlamelle (*c*) von ansehnlicher Dicke überkleidet, ehe die Abscheidung der großen Perlmutterkristalle (pe_1) beginnt. Entsprechend dem später zu schildernden Aufbau der Perlmuttermasse sind die erst ausgeschiedenen dicken Plättchen (pe_1) an ihrem Unterrand, mit dem sie an die gewöhnliche Perlmuttermasse grenzen, treppenartig ausgeschnitten (Fig. 26, Taf. 2).[1])

Wir müssen nun noch der wurzelartigen Anhänge gedenken, die von der Unterfläche der Prismen in die Perlmutterlage ein Stück weit hineinreichen und deren Ausbildung mit der Anwesenheit der großen Perlmutterkristalle innig zusammenhängt. v. Nathusius-Königsborn (1877, p. 817) gibt an, daß sie den Eindruck von Spalten machten, aber an entkalkten Schliffen zeige sich, daß sie mit Conchinmembranen erfüllt seien. In der Tat spielt Anhäufung von Conchin eine wesentliche Rolle bei der Entstehung dieser Strukturen; aber ihr dunkles Aussehen wird dadurch nicht

1) L. Jameson (1912, p. 302) hat an einem Querschliff durch eine entkalkte *Meleagrina*-Schale die großen Perlmutterkristalle bzw. die zwischen ihnen übrig gebliebenen Conchinlamellen beobachtet und bezeichnet sie als alveoläre Conchinlage („a curious alveolar layer"), die Prismen und Perlmutter verknüpft (*con*, fig. 6a, tab. 34 a. a. O.).

hervorgerufen. Dünne Schliffe lassen ganz einwandfrei erkennen, daß zwischen den großen Perlmutterkristallen röhrenartige Spalten vorhanden sind, die an der Basis der Prismen meist sehr schmal beginnen, dann sich ausweiten, noch eine Strecke in die Perlmutterlage hineinreichen und schließlich unvermittelt abschließen (Fig. 27, Taf. 2). Diese Lücken sind von Conchin ausgefüllt, das — gleich den Septen zwischen den Prismen, was hier auch der genannte Autor feststellte — zahlreiche gaserfüllte Hohlräumchen enthält, welche das dunkle Aussehen der Wurzeln verursachen. Auch Flüssigkeitströpfchen finden sich im Conchin (ebenfalls in dem zwischen den Septen der Prismen) eingebettet, häufig leicht kenntlich an einer kleinen, in ständiger Bewegung begriffenen Gaslibelle (s. o. bei *Anodonta*). Die geschilderte Form der Wurzeln am Querschliff stimmt durchaus mit den Beobachtungen am Flächenbild überein, indem die dunklen Flecke (Textfig. K) bei hoher Einstellung am umfangreichsten erscheinen, bei Senkung des Objektivs sich verkleinern und endlich verschwinden. —



Fig. L. *Mytilus edulis*, juv. Auslaufende Perlmutterlage in polarisiertem Licht. Zahlreiche zerstreute Anlagen von Perlmutterblättchen. 150 : 1. Photogramm von E. Leitz, Wetzlar.

Schließlich noch ein paar Worte über das Verhalten des peripheren Perlmutterwachstums bei *Mytilus*. Beim erwachsenen Tier legt sich die Perlmutterlage in ziemlich großen unregelmäßig rundlichen Partien an, die allmählich miteinander verschmelzen; die einzelnen Perlmutterblättchen sind dabei nicht gut voneinander zu unterscheiden. Bei ganz jungen Schalen von 2—3 mm Länge dagegen vollzieht sich die Ausdehnung der Perlmutterlage in ganz anderer Weise. Die Innenfläche der Prismen erscheint in einer breiten, dem bereits geschlossenen Teil der Perlmutterschicht vorgelagerten Zone wie überstäubt mit winzigen Aragonitkristallen,

die besonders in polarisiertem Licht aufs schönste hervortreten (Textfig. L). Da nämlich die Längsachse der Prismen bei *Mytilus*, im Gegensatz zum gewöhnlichen Verhalten, der Schalenfläche fast parallel geht und die Prismen über größere Strecken der Schale hin optisch gleich orientiert sind, so wird es möglich, in einem bestimmten Bezirk der Schale die Prismen in Auslöschstellung zu bringen, während gleichzeitig die Perlmutteranlagen hell aufleuchten. Im allgemeinen werden die Kristalle um so größer, je mehr man sich der geschlossenen Perlmutterlage nähert; doch treten dort, wo die Perlmutterschicht sich dem Schalenrand am meisten nähert (Textfig. M), größere Kristallgebilde auf. Auch bei dem erwachsenen *Mytilus* sieht man im polarisierten Licht an dem auslaufenden Rande der Perlmutterlage ähnliche Kristallaggregate.



Fig. M. *Mytilus edulis*, juv.
Aggregate von Perlmutterblättchen nahe am Schalenrande in polarisiertem Lichte. 150 : 1.
Photogramm von E. Leitz, Wetzlar.

Überschauen wir zusammenfassend die wichtigsten der in diesem Abschnitt niedergelegten Beobachtungen über das Wachstum der Perlmuttermasse in der Schalenperipherie, das zur Vergrößerung ihrer Fläche führt. Auf der Innenseite der Prismen erscheinen die ersten Perlmutteranlagen als isolierte scheibenförmige Blättchen, wobei zunächst eine Bevorzugung der Conchinsepten der Prismen als Ansiedlungsstellen bemerkbar sein kann. Reichlichere Ausscheidung von Conchin führt im Perlmutterprismen-Grenzgebiet zu allerlei verwickelten Strukturen, über die im vorstehenden im einzelnen berichtet wurde. Die Perlmutterblättchen wachsen heran, können dabei frühzeitig zu Komplexen verschmelzen und liefern schließlich eine erste Elementarlamelle, die den Prismen aufliegt. Die Art ihrer Entstehung bedingt natürlich eine durchaus scharfe Grenze zwischen Prismen- und Perlmutterschicht; ein allmählicher Übergang zwischen beiden besteht nie. Auf der erst gebildeten Elementarlamelle treten neue Anlagen von Perlmutterblättchen auf, und damit ist der Beginn terrassenförmiger Anordnung der Wachstumszonen gegeben. Die Perlmutterblättchen im äußersten Rand-

gebiet zeigen rundliche Umrisse; erst in einer gewissen Entfernung vom Rande treten an ihren Seitenflächen die charakteristischen dem rhombischen Kristallsystem entsprechenden Begrenzungen auf. Bei *Meleagrina* sind die ersten Perlmutterelemente nicht die bekannten, kleinen Perlmutterblättchen, sondern sehr viel größere und dickere Kristallgebilde, die erst allmählich diesen Platz machen. Die Flächenbilder und Querschnittsansichten der Prismen-Perlmuttergrenze erfahren durch die Anwesenheit der auskeilenden Prismenlagen allerlei Variationen, die von Fall zu Fall diskutiert wurden.

Wie eine Untersuchung der Schaleninnenfläche in ihrem mittleren Teil uns zu Ergebnissen führte, die in keiner Weise sich mit der Vorstellung von der Anlagerung einer Perlmutterlamelle nach der anderen (als geschlossene Schicht) vereinen lassen, so stehen auch unsere neuen Befunde in schroffem Widerspruch zu der landläufigen Anschauung, daß das Flächenwachstum der Perlmutterlage dadurch zustande kommt, daß die jeweils innerste Lamelle ein Stückchen weit über die vorher angelegte nach der Schalenperipherie zu hinausgeht.

II. Die Strukturen am Perlmutterflachschliff und -spaltblättchen.

a) Historisches.

Weitaus am meisten ist der Bau der Perlmuttermasse am Flachschiff (= parallel der Schalenebene) untersucht worden.

Schon von Hatchett (1799) war erkannt worden, daß die Perlmuttermasse einen lamellösen Bau besitzt, indem nach Säurebehandlung eine Reihe von Membranen zurückbleibt, welche die Form der Schale behalten. Jede Membran besaß nach Hatchett eine korrespondierende Schicht von Kalkkarbonat. Die Schale wächst durch Zufügen einer neuen Kalklage, die durch eine neue Membran gesichert wird; jede neue Lage geht in ihrer Ausdehnung über die vorher gebildete etwas hinaus und so gibt die Zahl der Lagen Aufschluß über Wachstum und Alter der Tiere (p. 319—320). Dieser lamelläre Bau der Schalen wurde nun vielfach herangezogen, um die Erscheinungen zu erklären, die sich am Perlmutterflachschliff darbieten.

Als erster berichtet Brewster (1813, p. 409 f.), daß die Perlmutterfläche mit elementaren Furchen bedeckt sei, die durch keine Politur verändert oder beseitigt werden können und an die zarte Zeichnung auf der Fingerspitze eines Kindes oder an die parallelen Linien erinnern, mit denen man auf Karten die Grenzen von Land und See markiert. Perlmutter von regelmäßigem Bau hat überall parallele Linien, solcher von unregelmäßiger Gestaltung Linien von allen möglichen Formen. Der Ab-

stand der Linien ist bald so groß, daß sie mit schwacher Vergrößerung, in seltenen Fällen selbst mit bloßem Auge wahrgenommen werden können, bald aber gehen über 3000 Linien auf 1 inch. Schrammen in der Perlmutter zeigen auf ihrem Grund und an ihren Seiten genau dieselben Furchen wie die polierte Fläche.

Herschel (1820, p. 116f.) fand an Schliffen parallel zur Schalenoberfläche außer der von Brewster beschriebenen unregelmäßigen Struktur eine zweite sehr zarte und regelmäßige, leicht gewellte, wie aus gelegentlich verästelten Fasern, die sich aber nicht über eine gewisse Länge fortsetzten, streng parallel geordnet seien und in gleichmäßigem Verlauf über die Perlmutterplatte im ganzen herziehen. Ihre Linien kreuzen die Brewster'sche Struktur unter beliebigen Winkeln und halten gegenseitig einen Abstand von $^1/_{7700}$ inch ein. Beim Durchblick durch dünne polierte Perlmutterplatten erzeugt diese wellenförmige Struktur zwei Spektren, deren Verbindungslinie senkrecht zum „optischen Meridian" (= Achsenebene) steht. Herschel erschließt aus dieser Erscheinung die Ursache der welligen Struktur als eine regelmäßige Lamellierung senkrecht zur Schalenoberfläche, die einheitlich alle ihre Schichten durchsetzt; die Lamellen müßten gemäß den genannten Tatsachen parallel zueinander und in Linien auf der Oberfläche verlaufen und wenigstens die eine um die andere Lamelle müßten regelmäßige Kristalle sein, deren Achsenebene parallel der Lamellenebene gehe, während ihre erste Mittellinie senkrecht zur natürlichen Schalenfläche stehe. Die zwischenliegenden Lamellen müßten, falls sie aus der gleichen Substanz beständen, die erste Mittellinie unter einem bestimmten Winkel gegen jene geneigt haben, die wahrscheinlich durch kristallographische Gesetzmäßigkeiten bestimmt sei (p. 119).

Bei der Brewster'schen Struktur handelt es sich nach Herschel um den Durchschnitt der künstlichen Oberfläche mit den dünnen Lamellen, die das lebende Tier nach und nach absondere. Diese seien leicht unregelmäßig gekrümmt und hielten eine geringe und wechselnde Neigung gegen die polierte Oberfläche ein und bestimmten so Form und Abstand der Linien. Sie ließen sich vollkommen vergleichen dem Verhalten einer Diele, die in einiger Entfernung von der Mitte des Stammes herausgeschnitten, geglättet und dann der Reibung durch rauhe Teilchen (wie auf dem Fußboden) ausgesetzt sei. Wie hier, so würden auch die Lamellen einer Perlmutterplatte, deren Kanten auf die äußerste Dünne gebracht seien, infolge ihrer Neigung gegen die allgemeine Oberfläche in der Richtung des geringsten Widerstandes durch die Wirkung der Schleifpartikelchen abgebrochen (p. 119—120).

Schließlich bemerkt Herschel (a. a. O., p. 120), daß die Oberfläche einer polierten Perlmutterplatte keineswegs aus Erhöhungen und Vertiefungen ohne oder nur mit einer kleinen intermediären Ebene bestehe. Im Gegenteil lehrten mikroskopische Untersuchungen stets, daß zwischen den Furchen kleine Ebenen vorhanden seien. Gemäß einer schematischen Figur (5, tab. 3, a. a. O.) betrachtet Herschel diese Ebenen als durch

das Schleifen erzeugt, so daß die in der Schliffebene zutage tretenden Enden der Lamellen nach ihrer freien Kante hin verjüngt auslaufen. Abgesehen von dieser letzten Angabe, der ich höchstens für sehr schräg gehende Schliffe als gelegentliche Erscheinung beipflichten könnte, sind HERSCHEL's Ausführungen über die Ursachen der von BREWSTER entdeckten Struktur so treffend und eingehend, daß man sich wundern muß, daß in der Folgezeit andere, durchaus verkehrte Erklärungen dafür gegeben werden konnten.

So nimmt W. B. CARPENTER (1843) an, daß jede Lamelle gefältelt sei und die Falten sich schindelartig überdeckten. Die scharfe Kante jeder Lamelle markiert eine Linie und der Abstand der Linien hängt davon ab, ob die Schnittebene mit der Faltungsebene mehr oder weniger zusammenfällt. Die Schliffebene durchsetzt die Schale infolge deren Wölbung in verschiedenen Teilen und so zeigt ein einzelner Schliff oft große Unterschiede in der Anordnung der Linien, gerade so wie ein Brett die Holzlagen in seinen verschiedenen Partien verschieden verteilt darbietet (p. 382). Die organischen Lamellen der Perlmutter behalten ihren Glanz, solange ihre Faltenanordnung ungestört bleibt; unzureichende Regelmäßigkeit der Falten bedingt Fehlen des Perlmutterglanzes (p. 382).

Diese Anschauung vertritt CARPENTER (1844, p. 12—13) auch später insbesondere gegenüber der Ansicht BREWSTER's, daß die Linien dadurch zustande kämen, daß beim Schleifen die organischen Lamellen abgenützt würden und die kalkigen stehen blieben. Wenn das richtig wäre, dann müßte, meint CARPENTER, ein sehr dünner Perlmutterschliff mehrere tausend solcher Lagen enthalten, entsprechend der Zahl der Linien auf seiner Oberfläche; ein entkalkter Schliff lehre aber, daß die Zahl seiner häutigen Lagen in keinem Verhältnis zu derjenigen der Linien auf seiner Oberfläche stehe. Außer den Hauptfalten sollen nach CARPENTER noch kleine rechtwinkelig zu ihnen verlaufende vorkommen; da sie sich aber nicht überlagern und so keine scharfen Kanten bilden, lassen sie sich nicht gleich den ersten in Wachs usw. abdrücken (HERSCHEL's Struktur?).

Die Zusammensetzung der Perlmutterlamellen aus einzelnen Blättchen (Flächenfelderung) hat als erster BOWERBANK (1844, p. 135) treffend geschildert. Seine Beschreibung lautet übersetzt: Jede dieser dünnen Platten bei *Unio* „ist von einer unendlichen Zahl polygonaler, würfelförmiger Zellen zusammengesetzt, die mit Kalkkarbonat erfüllt sind. Die gleiche würfelartige Zellstruktur herrscht bei *Mytilus* vor. . . . Die Schalen, bei denen ich die würfelförmigen Zellen in größter Vollendung erhielt, waren fossile Unionen aus der Süßwasserformation von Grays in Essex und *Mytilus*-Arten aus einer sehr jungen diluvialen Ablagerung in Braklesham in Sussex. Bei diesen war die organische Masse in solchem Maße zersetzt, daß sie einen äußerst brüchigen Zustand angenommen hatte und solche Formen geben bei derartiger Beschaffenheit die beste Vorstellung von der Struktur und der Anordnung des Gewebes.“ Der Umstand, daß BOWERBANK die Würfel als Zellen betrachtete — glaubte er doch ihre Bildung aus dem „Cytoblast“ verfolgen zu können — wie überhaupt seine grundsätzliche Auffassung der Molluskenschalen

als lebende Gebilde, hat es wohl mit sich gebracht, daß die erwähnten Befunde nicht die genügende Beachtung fanden.

Carpenter (1849, p. 562—563) konnte „zellige Struktur" der Perlmuttermasse nur nur bei der Schnecke *Haliotis* erkennen; Perlmutter von Zweischalern sei meist homogen.

Möbius (1858, p. 69) beobachtete die Flächenfelderung nach Ätzung mit konzentrierter Essigsäure an Perlen: „Es erscheint dann nämlich eine zartzellige Struktur (ungefähr wie in den Querschnitten der Säulenschicht, doch viel feiner)." Auch bei stufenweiser Einwirkung der Säure auf Schalen von *Pinna pectinata* L., *Unio margaritifer* L. und zwei verschiedene Schalen von *Avicula margaritifera* L. von 5, 10, 20 Sekunden bis zu einigen Minuten konnte Möbius jene zartzellige Struktur erzeugen. Außerdem aber beschreibt er (p. 70) neben den Furchen auf der natürlichen oder geschliffenen Perlmutterfläche ein zweites System feiner Linien an feinen Schliffen und Spaltblättchen. Sie treten niemals mit der Schärfe hervor, wie jene, welche die Perlmutterfarben erzeugen, sondern erscheinen stets etwas nebelig verwischt und äußerst gering wellenförmig gebogen. Sie besitzen ein und dieselbe Richtung, während die der „Interferenzfurchen" häufig wechselt, so daß diese ihnen bald parallel laufen, bald sie unter allen möglichen Winkeln schneiden. Auch ändern sie ihre Entfernung voneinander nicht, während die Abstände der Interferenzfurchen zwischen weiten Grenzen schwanken. Diese zarten Linien sind entweder der Effekt feiner Wellenbiegungen der Perlmutterschichten oder einer Verschiedenheit in ihrer inneren Struktur, wie Herschel anzunehmen geneigt war. An Perlen laufen die feinen dunklen Linien gewöhnlich in Richtung der Parallelkreise des Globus rund herum. In den Perlmutterschichten einer Perle von *Unio margaritifer* waren sie noch nach der Entkalkung sichtbar; hier kreuzten sich die Linien der übereinander liegenden Schichten in verschiedenen Winkeln. Obwohl die bei Möbius angezogenen Abbildungen (fig. 6 u. 14 a. a. O.) nur wenig gut zu vorstehender Schilderung passen, indem dort die Linien ganz scharf dargestellt sind und zum Teil von Wellenbiegungen nichts erkennen lassen, so scheint mir doch die ganze Beschreibung unzweifelhaft auf unsere „Reihenstreifung" zu zielen.

v. Hessling (1859, p. 252) hält die feinen, scharf geschnittenen, ausgezackten und gezähnelten, wellenförmigen Linien, die teils in weiten, teils in kaum meßbaren Abständen einander parallel ziehen oder in konzentrischen Kreisen mit verschiedenen Durchmessern sich decken, aber auch unregelmäßig verlaufen und durch kein Schleifen oder Polieren weggebracht werden können, für die Ränder von treppenartig übereinander liegenden und einander deckenden Schalenlamellen und nicht für Furchen und stimmt Herschel's Vergleich mit der Oberfläche eines geglätteten Brettes, bei dem die Holzschichten an einer Stelle senkrecht zu ihrer Oberfläche, an anderen fast in ihrer Ebene geschnitten sind, bei. Brewster's Annahme von der Entstehung der „Furchen" durch Abreiben der organischen Lamellenränder und Stehenbleiben der kalkigen Schichten lehnt v. Hessling (a. a. O., p. 252) mit der Begründung ab, daß die Zahl der organischen Membranen keines-

wegs derjenigen der kalkigen Lamellen entspreche und somit auch nicht der Anzahl der Linien auf der Perlmutteroberfläche.

Ferner findet v. HESSLING (a. a. O., p. 252—253) auf den Lamellen bei *Meleagrina* in größerem Maßstabe als bei *Unio* äußerst zarte polygonale Umrisse, die je nach der Einstellung des Tubus dunkel und hell erscheinen und auf der Zusammensetzung der Lamellen aus vieleckigen Stückchen beruhen, die ihrer Gestalt nach Abscheidungsportionen von einer oder einem Komplex mehrerer Mantelzellen entsprechen. Bei *Unio* nähern sich die Gebilde fast eckig gedrückten Kügelchen. Das von MÖBIUS und HERSCHEL beschriebene verwaschene Liniensystem an Schliffen und Spaltblättchen soll nach v. HESSLING bei *Unio* und *Meleagrina* nicht vorhanden, wenn nicht überhaupt durch Schleifmanipulationen erzeugt sein (p. 253).

ROSE (1859, p. 81) läßt bei *Pinna* die äußerst dünnen Lamellen der Perlmutterschicht teils glatt, teils mehr gerunzelt übereinander liegen; im letzten Falle halten die Falten mehr oder weniger parallele Richtungen ein und man sieht sie besser bei etwas zu hoher Fokussierung.

v. NATHUSIUS-KÖNIGSBORN (1877, p. 65, 87, 100) betrachtet die durch Ätzung mit Chromsäure und Salpetersäure bei *Meleagrina*, *Mytilus*, *Anodonta* erhaltenen netzförmigen Zeichnungen auf den Perlmutterflächenschliffen als ein organisches Strukturverhältnis; es handle sich nicht um bloßgelegte Kristallformen.

Nach TULLBERG (1882, p. 18—19) läßt sich die Perlmutterlage von *Mytilus*, entkalkt, leicht in Lamellen zerlegen, die eine netzähnliche Zeichnung aufweisen, wie sie am Horizontalschliff erst nach Ätzung hervorgerufen werden kann.

v. GÜMBEL (1884, p. 389, 391) sah überall die eigentümliche zellige Struktur. Parallel zur Schalenoberfläche erscheine die Perlmutterschicht fein gestreift oder gefaltet, so daß das Gesamtbild einem Netzwerk mit sehr stark in die Länge gezogenen Maschen ähnlich wird. Durch schwaches Anätzen tritt diese Zeichnung deutlicher hervor, zugleich aber eine feinzellige Struktur, die bereits vor dem Ätzen angedeutet ist und von einer entsprechenden Ausbildung der organischen Membranen herrührt. Durch Druck lassen sich nach v. GÜMBEL (a. a. O., p. 394) dünne Blättchen der Perlmutterschicht in eckige Schüppchen zerteilen, ein Zerfall, der für die Perlmutterschicht in hohem Grade charakteristisch sei und sich bei keiner anderen Schalenlage wiederfinde.

Nach EHRENBAUM (1885, p. 9—12) zeigt die weiße Substanz von *Mytilus* alle charakteristischen Eigentümlichkeiten der Perlmutter, im Flachschliff eine große Zahl mehr oder weniger paralleler, seltener in geschlossenen Kurven auftretender Zickzacklinien, ferner in einigen Fällen und regelmäßig bei Ätzung eine polygonale Felderung, wobei die Grenzen der Polygone allemal mit den Zickzacklinien zusammenfallen. Die Entstehung der Zickzacklinien führt der Autor auf die Anlage der Perlmutterlamellen in einzelnen Bezirken zurück. Dadurch sei von vornherein der Grund zur Septierung der einzelnen Lamelle gegeben und man verstehe, weshalb sie mit Leichtig-

keit jene Zickzackbegrenzung annehme, beim Schleifen ebensowohl wie beim einfachen Zerbrechen. In der Flächenansicht sieht man also in den zahlreichen Zickzacklinien die Begrenzung von eben so viel einzelnen Schalenlamellen. Die Linien sind aber eigentlich hervorgerufen durch die im Verhältnis zur Dünne der Schichten unvollkommene Schleifmethode, wodurch die Ränder alle herausgebrochen werden. Die Zickzacklinien sind also nicht, wie meist angenommen, Ausdruck der welligen Biegungen der Lamellen; denn diese sind gar nicht gebogen (p. 12—13).

Gemäß den Ausführungen von F. Müller (1885, p. 222) zeigen Perlmutterblättchen nach dem Entkalken fibrilläre Struktur, wie denn die Schale zunächst fibrillär angelegt werde und die lamelläre Struktur erst sekundär, wahrscheinlich mit der Verkalkung eintrete. Die zarten organischen Häutchen der Perlmutterlage besitzen eine polyedrische, nicht überall gleich deutliche Felderung (p. 225f. a. a. O.).

Nachdem so viele Autoren die polyedrische Zeichnung der Flachschliffe und auch entkalkten Perlmutterplättchen festgestellt haben, hebt Moynier de Villepoix (1892, p. 483) für *Anodonta* hervor, daß er sie nicht beobachten konnte; doch hält er derartige Bildungen für Zellabdrücke.

Stempell (1898) hinwiederum betont, daß in der entkalkten Schale von *Leda* und *Malletia* die Conchinhäutchen, von der Fläche gesehen, die polygonale Felderung erkennen lassen, die für ihre Struktur so charakteristisch sei.

Seurat (1900) erwähnt gleich Herschel und Möbius (s. o.), daß ein sehr dünn gespaltenes Perlmutterblättchen neben den bekannten zackigen Linien ein zweites System von zarten dunklen Linien zeige, die gleichweit voneinander entfernt sind (zitiert nach Neumann).

Biedermann (1901, p. 24) wendet sich gegen die mehrfach vertretene Anschauung, das charakteristische Aussehen der Perlmuttersubstanz an Flachschliffen beruhe auf Fältelung ihrer Lamellen; vielmehr müsse vor allem daran festgehalten werden, daß jede Lamelle eben und ungefaltet abgelagert werde. Das Bild erkläre sich einfach dadurch, daß die Lamellen nicht eine ebene, sondern eine gekrümmte Fläche überzögen. Dazu komme noch, daß vom Schloßrand ausgehend, jede folgende neu gebildete Lamelle merklich über die nächst vorhergehende übergreife und zwar so, daß der Rand der Lamellen vielfach unregelmäßig geschwungen oder gezackt sei. Unter solchen Umständen müsse jeder Flächenschliff ein System konzentrischer Linien darbieten, die am Rande des Schliffes besonders dicht ständen und teils den Grenzlinien der schräg durchschnittenen Lamellen, teils den natürlichen Rändern derselben entspreche. Auch später kehrt bei Biedermann (1914, p. 681) diese Auffassung wieder.

Die polygonale Felderung der Schliffläche, deren Grenzen mit den Zickzacklinien zusammenfallen, betrachtet Biedermann (1901, p. 25—26) als Abdruck der Zellen des Mantelepithels, indem jede einzelne Zelle einen ihr genau nach Form und Größe entsprechenden Eindruck hinterläßt; auch bringt er v. Gümbel's Angaben über den Zerfall der Perl-

mutterschicht mit dem gefelderten Bau in Zusammenhang. Beim Entkalken von Dünnschliffen (*Unio, Anodonta*) konnte der Autor jedes Feldchen eine Strecke weit in die Tiefe verfolgen (p. 70).

Ebenfalls Bütschli (1901, p. 760) unterstreicht die Zusammensetzung der Perlmutterlamellen aus unregelmäßig polygonalen Blättchen, wie sie bereits früher mehrfach festgestellt sei.

Dann gibt List (1902, p. 71) eine von schönen Abbildungen begleitete Beschreibung des Perlmutterflachschliffes von *Mytilus*: „Auf einem Flächenschliff durch die Perlmutterschicht beobachtet man die . . . charakteristische Anordnung von Zickzacklinien . . .: um ein zentrales Plättchen mit gezackten Rändern verlaufen in mehr oder weniger konzentrischen parallelen Kurven eine große Anzahl von Zickzacklinien. . . . Bei Anwendung einer stärkeren Vergrößerung tritt eine feine Felderung zutage. . ., die bei Behandlung des Plättchens mit Kalilauge noch deutlicher hervortritt. Entkalkt man einen solchen Flächenschliff . . ., so überzeugt man sich, daß die Felderung und die Zickzacklinien von dem feinen organischen Gerüst herrühren, das die Grundsubstanz der ganzen Schicht bildet. Die organische Substanz bildet ein Maschenwerk, . . . das aus sehr verschieden gestalteten Polygonen besteht. Da der Kalk natürlich in ganz denselben Plättchenformen auftritt, so könnte man sagen, jede Lamelle ist aus einzelnen, sehr flachen, unregelmäßigen, polygonalen Prismen zusammengesetzt."

Römer (1903, p. 448—451) erhielt beim Zerquetschen von Perlmutterblättchen, die durch Kalilauge isoliert waren, lauter kleine unregelmäßige Polygone, die bei stärksten Vergrößerungen einen hellen Saum zeigen, der von einer einzigen Maschenreihe gebildet wird; im Innern der Polygone ist öfter ein Zentrum wahrzunehmen, um welches sich ein Maschenwerk gruppiert. Die Polygone sollen sich nach Römer ähnlich wie die Prismen verhalten, nur daß an ihnen alles kleiner, feiner und verschwommener ist. Beim Erhitzen von Perlmutterblättchen (Einwerfen in geschmolzenes Jodkali, dann erkalten lassen) tritt eine ganz deutliche Alveolarstruktur hervor und besonders schön sind die Grenzlinien zwischen den Perlmutterpolygonen zu sehen: sie sind doppelt, heben sich bei tiefer Einstellung also als helle Streifen von den Polygonen ab und werden von einer einzigen Reihe regelmäßiger Räumchen gebildet (p. 458). Die Untersuchung entkalkter Schalenstücke läßt es dem Autor als wahrscheinlich gelten, daß die Conchinmasse der Perlmuttersubstanz einen gekammerten Bau zeigt; in den einzelnen Kammern ist der kohlensaure Kalk in Form der Perlmutterblättchen eingeschlossen (p. 463).

Nach Herdmann (1904) zeigt Perlmutter der ceylonischen *Meleagrina* unter hoher Vergrößerung in Flächenansicht ein feinkörniges Aussehen; dabei erscheinen die Lagen, aus denen sie sich aufbaut, als dicht stehende Konturen.

Jameson (1912, p. 300) schließt sich in einer Auffassung der Perlmuttermasse im wesentlichen an Römer (s. o.) an; auf einzelne Besonderheiten wird noch bei Besprechung des Querschliffes einzugehen sein.

Zuletzt hat Rassbach (1912) für *Anodonta* das viel erörterte Bild des Perlmutterflachschliffes erneut geprüft. Biedermann's oben genannte

Anschauung (s. S. 60) weist er zurück, weil 1. am Schalenrand die Perlmutterlamellen in die Querstreifung der Prismen übergingen, somit es überhaupt keine natürlichen Ränder der Perlmutterschicht gäbe, was auch nur durch eine scharf begrenzte Epithelzone, die ausschließlich Perlmutter produziert, bedingt sein müßte. Vielmehr sollen die scheinbaren Ränder nur durch die unvollkommenen Schleifmethoden hervorgerufen werden. Da 2. bei Betrachtung der Flächenansicht unter starker Vergrößerung nur ein sehr kleines Stückchen der Perlmutterschicht herausgegriffen wird, so kommt die Krümmung der Lamellen nicht in Frage; vielmehr sind unsere Schleifmethoden „im Verhältnis zu den sehr dünnen Schichten der Perlmutter so unvollkommen, daß sie nicht imstande sind, den Flächenschliff absolut parallel zu den äußerst feinen Lamellen zu führen. . . . Hieraus erklärt sich auch leicht ein Bild mit konzentrisch in einander laufenden Linien wie es List . . . wiedergegeben hat. Ein solcher Schliff ist annähernd parallel zu den Lamellen gelegt, von denen jede nach allen Richtungen ungefähr in derselben Höhe getroffen ist" (p. 403). Die polygonale Felderung auf der Innenfläche der Perlmutterschicht bringt Rassbach mit den Polygonen von unregelmäßiger Gestalt zusammen, die man bei Behandlung von Perlmutter mit Kalilauge erhält und die am Rande bei gewisser Einstellung einen hellen Saum zeigen. Daß er sie irrig als Sphärokristalle deuten möchte, haben wir bereits früher erwähnt (s. S. 22).

Karny (1913) findet die Perlmutterschicht von *Pinna* bei Flächenansicht aus zahlreichen feinen Lamellen und Blättchen aufgebaut, die namentlich bei Betrachtung der dem Mantel zugekehrten Seite gut erkennbar sind, niemals aber sah er Täfelchen, die so regelmäßig gewesen wären, daß man sie für Kristalle hätte halten können. Nach der Schilderung, die Karny von den einzelnen Blättchen gibt (zackige Begrenzung an die Nähte der Schädelknochen erinnernd), möchte ich vermuten, daß er nicht die eigentliche Perlmutterlage, sondern die helle Schicht untersucht hat und werde deshalb später noch einmal auf diese Angaben zurückkommen.

Endlich bemerkt Schwitzer (1919), daß die blätterige Struktur der Perlmutterschicht unter dem Mikroskop besonders schön an den Kanten feiner Splitter zu sehen sei. Das Bild erinnere an Glimmer; doch sei dessen leichte Spaltbarkeit nicht vorhanden. Die Oberflächen der Blättchen sind nicht glänzend glatt wie poliert und eben wie die Spaltungsflächen des Glimmers, sondern unregelmäßig gefurcht, kraus, oft genarbt. Die Blättchen liegen mit wohl ausgebildeten Grenzflächen aufeinander (p. 198). Für die Schale der Seeperlmuschel kommt die Annahme einer ungleichen Härte der Schichten als Ursache der Oberflächenriffelung nicht in Frage. Vielmehr spricht Schwitzer neben anderen von „krauser Beschaffenheit" der Grenzflächen (p. 198—199).

Schließlich mögen Neumann's einschlägige Befunde hier Platz finden. Die Hauptstruktur auf Flächenschliffen bilden die „Zickzacklinien". Doch konnte der Autor auch die von Herschel, Möbius und Seurat festgestellte schwach wellenförmige Struktur bei *Unio*, *Anodonta*, *Meleagrina* und *Margaritana* beobachten, jedoch nicht an allen Stellen, niemals am nicht irisierenden Teile der Schale. Um sie zu sehen, muß man nach Ein-

stellung auf die Zickzacklinien den Tubus senken. Demnach ist sie eine innere Struktur, wie auch das durch sie erzeugte Spektrenpaar nur bei Durchsicht wahrnehmbar ist. Die Verbindungslinie der Achsenpunkte des Polarisationsbildes fällt mit ihr zusammen. Zickzacklinien und schwach wellenförmige Struktur verfolgen alle Richtungen zueinander. Außerdem beobachtete NEUMANN bei den genannten Muscheln die polygonale Felderung.

Die Zickzacklinien entstehen nach NEUMANN durch das Herausbrechen der kleinen Kristalle aus den Kalklamellen. Schleift man parallel zur natürlichen Oberfläche, so wird der Abstand der Linien groß, weil die abwechselnd aus Conchin und kohlensaurem Kalk bestehenden Lamellen sehr schräg getroffen werden. Daher werden die Polygone der einzelnen Kalkschichten durch die Schleifmethode stark herausgebrochen; da sie nur noch auf einer Seite Halt haben. Je mehr die Schliffebene sich der Oberflächennormale nähert, um so weniger werden die Polygone der Gefahr des Herausbrechens unterliegen, wie der Querschliff tatsächlich vollkommen glatte Oberfläche zeigt.

Das Zustandekommen der schwach wellenförmigen Struktur erklärt sich NEUMANN unter der Annahme, daß die Kristalle in den Kalklamellen in regelmäßiger Form, z. B. sechseckig abgelagert seien. Wenn diese Anschauung richtig ist, so müßte auch unter einem bestimmten Neigungswinkel (für Sechsecke von 120^0) gegen die schwach wellenförmige Struktur noch eine zweite derartige Linienanordnung vorhanden sein, die entsprechend zu den Seiten der Kristalle geneigt ist. Die durch diese Struktur hervorgerufenen Beugungsspektren konnte NEUMANN tatsächlich feststellen, obwohl die Struktur selbst im Mikroskop nicht zu sehen war.

Aus den vorstehenden, im einzelnen sich vielfach widersprechenden Angaben über das Bild des Perlmutterflachschliffes ergibt sich, daß von zahlreichen Autoren zwei Strukturen vielfach beobachtet wurden: die zackigen Linien, die wir im folgenden als Niveaulinien bezeichnen werden, die durch Fältelung oder treppenartige Anordnung der Perlmutterlamellen erklärt, oder mit der Wölbung der Schale in Zusammenhang gebracht wurden, oder schließlich irgendwie durch das Schleifverfahren bedingt sein sollten, und die auf der Zusammensetzung der Perlmutterlamellen aus kleineren Einheiten beruhende zellige Zeichnung oder netzige Struktur, unsere Flächenfelderung. Es hat nicht an Autoren gefehlt, welche diese beiden Strukturen zueinander in Beziehung gesetzt haben. Eine dritte Struktur, von HERSCHEL entdeckt, die wir als Reihenstreifung einführen werden, ist dagegen bisher nur seltener festgestellt worden.

b) Eigene Untersuchungen.

Ein volles Verständnis der Strukturen, die der Perlmutterflachschliff darbietet, läßt sich nur im Zusammenhang mit dem Querschliffbild gewinnen. Es muß daher hier kurz vorausgeschickt werden, daß dieser einen Aufbau der Perlmuttermasse aus zahl-

reichen dünnen Lagen, den uns schon bekannten Elementarlamellen, erkennen läßt, die horizontal übereinander geschichtet sind, und deren jede die Dicke eines Perlmutterblättchens besitzt. Ein solcher Bau folgt ja auch ohne weiteres aus unseren Beobachtungen über das Verhalten der wachsenden Perlmutterfläche. Hier fanden wir bereits die einzelnen Elementarlamellen in den Wachstumszonen terrassenartig übereinander geordnet; fortschreitender Ansatz neuer Perlmuttermasse am freien Rande der Elementarlamellen in einem derartigen System muß notwendigerweise zu einer lamellären Schichtung führen. Denn der Abschnitt einer im Bau begriffenen Elementarlamelle, die zunächst frei liegt, wird ja nach einiger Zeit von der nächst höher gelegenen überdeckt werden, und diese erleidet das gleiche Schicksal ihrerseits von einer weiteren Lamelle. So werden wir erwarten dürfen, auch im Innern der Perlmutter auf dieselben Strukturen zu stoßen, die uns an den Elementarlamellen begegneten, als sie — in ihrer Bildung bereits abgeschlossen — noch frei auf der wachsenden Fläche sichtbar waren.

Obwohl die lamelläre Schichtung der Perlmuttermasse durchaus scharf ist, gelingt es doch nur sehr unvollkommen, durch mechanische Zertrümmerung Perlmutter entsprechend der Ebene der Elementarlamellen aufzuspalten; vielmehr entstehen durch Spaltversuche mit dem Meißel, Pressen, Hämmern usw. im allgemeinen Splitter, deren Begrenzung der Lamellenschichtung nur zum geringsten Teil entspricht. Der Zusammenhang der Lamellen ist eben derartig fest, daß durch die Lamellierung kein Minimum der Kohäsion in der Perlmuttermasse gegeben ist. Ganz anders dagegen liegen die Dinge, wenn man durch Behandlung mit Kalilauge das die Lamellen verbindende Kittmaterial, das Conchin, erweicht oder zerstört. Derartig behandelte Perlmutter zerfällt überaus leicht entsprechend ihrer Schichtung in dickere oder dünnere — im äußersten Falle einer einzigen Elementarlamelle entsprechende — Blättchen, die ich im folgenden stets kurz als Spaltblättchen bezeichnen werde. Die idealen Flächen eines Spaltblättchens würden somit genau den Grenzen von Elementarlamellen entsprechen und ein Bild darbieten, das mit dem eines Flachschliffes übereinstimmen müßte, der vollkommen der Ebene der Lamellierung parallel geht. In Wirklichkeit erfüllen allerdings nur sehr kleine Spaltblättchen diese Voraussetzungen, bei größeren erfolgt die Spaltung nicht streng zwischen zwei Elementarlamellen, sondern geht in be-

nachbarte Ebenen über; immerhin aber läßt sich so ein Bild gewinnen, das dem Ideal viel näher kommt als dasjenige eines bestorientierten Flachschliffes. Zugleich mit der Isolierung der Elementarlamellen beginnen diese in die Perlmutterblättchen zu zerfallen.

1. Die Niveaulinien.

Ein im allgemeinen parallel zur Schalenfläche durch die Perlmutter gelegter Schliff bietet stets und bei allen Formen auf seiner Oberfläche scharfe, zackige Linien dar, deren Aussehen im übrigen stark wechselt, indem sie bald nahe, bald weiter voneinander entfernt sind, bald, nach einer bestimmten Richtung ziehend, parallel geordnet oder konzentrisch gestellt verlaufen, bald auch gar keine vorherrschende Orientierung erkennen lassen. Wir nennen diese Linien Niveaulinien aus Gründen, die sich im folgenden ergeben. Am vorteilhaftesten lassen sich die Niveaulinien an lufttrockenen Schliffen untersuchen, die mit ihrer Unterseite dem Objektträger aufgekittet sind.

Bei einer lamellös geschichteten Substanz wie Perlmutter müssen selbstverständlich Flachschliffe, deren Ebene nicht mit derjenigen der Lamellen übereinfällt, die Durchschnitte der Lamellen als parallele Linien, auf der Fläche zeigen. Und zwar wird der Abstand der Linien eine gewisse gleichbleibende Lamellendicke vorausgesetzt, um so größer, je weniger Schliff- und Lamellierungsebene gegeneinander geneigt sind.

Da nun die Schalenfläche häufig mit der Lamellierungsebene einen (mehr oder minder großen) spitzen Winkel bildet, auch die einzelnen Lamellen zu dünn sind, als daß die geringste Abweichung von der Lamellierungsebene innerhalb einer Elementarlamelle ausgeglichen werden könnte, so liegen selbst dann oft Schrägschliffe vor, wenn man sich bemühte, genau parallel der Lamellierung zu schleifen. Dieser Einfluß mangelnder Parallelität von Schliff- und Lamellenebene wird noch dadurch verstärkt, daß — gemäß den später zu besprechenden Querschliffsbildern — die Elementarlamellen allerlei Unregelmäßigkeiten: leichte Biegungen (nie aber Fältelung), wechselnde Dicke, Auskeilen einzelner Lagen usw. zeigen können. Somit besteht, allgemein gesagt, nicht jene strenge Anordnung vollkommen eben übereinander geschichteter Lamellen, die Voraussetzung für das Erscheinen eines Systems gerader paralleler Linien auf dem Schrägschliff ist. Solche Umstände, zu denen auch die nur bei sehr

kleinen und sehr stark gekrümmten Schalen zu beachtende Wirkung der Schalenwölbung gehören würde, bedingen zum Teil den wechselnden Abstand und den verwickelteren Lauf der Linien.

Noch mehr aber wird das Ergebnis des Schleifens dadurch beeinflußt, daß die Elementarlamellen wie wir bereits wissen, nicht einheitlich sind, sondern sich aus den Perlmutterblättchen zusammensetzen. Damit hängt es zusammen, daß selbst bei völlig paralleler Lage von Schliff- und Lamellierungsebene Niveaulinien entstehen.

Denn selbst der feinste Schleifstein wirkt zu grob, als daß er die einzelnen Elementarlamellen sukzessiv zu verdünnen vermöchte. Vielmehr werden durch das Schleifen stets Teilchen entsprechend der Lamellierung und der Zusammensetzung der einzelnen Lamellen aus Perlmutterblättchen herausgerissen. Ein keilförmiges Verdünnen der freien Lamellenränder beim Schrägschliff ist daher ausgeschlossen, sondern jede Lamelle wird gewissermaßen bei ihrem Austritt auf die Schlifffläche quer durchgebrochen. Die Bruchlinie ist vorgebildet in der Flächenfelderung, der Zusammensetzung der einzelnen Lamelle aus den Perlmutterblättchen; daher rührt die zackige Beschaffenheit der Linien. Demnach bildet die Schliffebene beim Schrägschliff keine glatte Fläche, sondern erhält durch die vorspringenden Kanten der abgebrochenen Lamellen ein scharfes, wenn auch sehr feines Relief. Die freien Kanten der Lamellen erscheinen in der Flächenansicht als die Niveaulinien.

Auch bei genauer Parallelität von Schliff- und Lamellierungsebene findet ein allmähliches Abschleifen (Verdünnen) einer einzelnen Lamelle infolge des verhältnismäßig groben Schleifverfahrens ebenfalls nicht statt. Vielmehr werden aus der jeweils in Bearbeitung befindlichen Elementarlamelle größere oder kleinere Stücke herausgerissen, deren Umriß sich mit Konturen der Flächenfelderung deckt. So kommt es auch im Parallelschliff zur Entstehung von Niveaulinien als Bruchrändern von Elementarlamellen. Naturgemäß liefert hier eine einzige Lamelle (oder nur wenige) zahlreiche Bruchränder, während bei einem Schrägschliff jede Lamelle nur mit einer Niveaulinie sich an dem Zustandekommen des Bildes beteiligt.

Mehr als lange Erörterungen wird ein Blick auf die Textfigg. N a und N b das Wesen der Niveaulinien an Schräg- und

Parallelschliffen klar machen. Die erste stellt schematisch den Querschnitt eines Schliffes dar, bei dem Schleif- und Lamellierungsebene (erheblicher als bei Schliffen parallel der Schalenebene) gegeneinander geneigt sind, die zweite einen solchen, bei dem sie einander vollkommen parallel gehen. In beiden Fällen erhellt, daß die (hier von der Kante gesehene) Schlifffläche nur im groben betrachtet als Ebene gelten kann, in Wirklichkeit aber ein System sehr flacher Terrassen darstellt. Diese gehen beim Parallelschliff der Schleifebene parallel, beim Schrägschliff dagegen sind sie gegen jene geneigt. Beim Schrägschliff bleibt — sofern die Lamellen einigermaßen eben sind — das Gefälle der Terrassen über die ganze Schlifffläche hin dasselbe, ist aber auf Ober- und Unterseite des Schliffs umgekehrt. Für den Parallelschliff ist die häufige Umkehr des Niveaugefälles charakteristisch. In dem einen wie in dem anderen Falle bieten sich die freien Kanten der Elementarlamellen in der Flächenansicht als Niveaulinien dar.

Zu dem Schemata ist noch zu bemerken, daß die Zahl der Lamellen zu klein, ihre Dicke zu groß im Verhältnis zu einer normalen Schliffstärke genommen wurde, um das Relief der Oberfläche deutlicher hervortreten zu lassen.

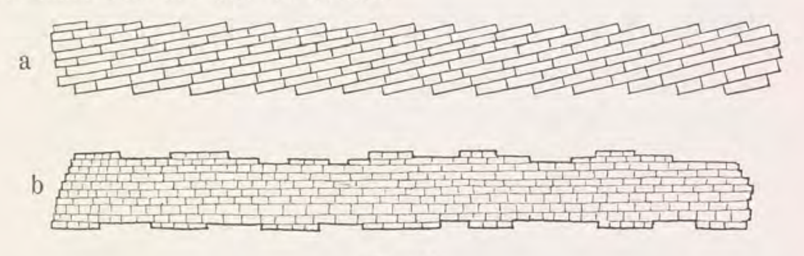


Fig. N.
Schema eines Perlmutterflachschliffes, schräg und parallel der Lamellierung, von der Kante gesehen. Terrassenbildung.

Selten wird man in der Wirklichkeit reine „Parallel“-Schliffe vorliegen haben, vielmehr werden gewöhnlich nur kleinere Stellen eines Schliffes das Verhalten eines Parallelschliffes darbieten.

Jetzt können wir auch die Bilder der natürlichen Perlmutterfläche, die Wachstumsmaserung, die mit den Niveaulinien vielfach identifiziert wurde, in richtige Beziehung zu ihnen setzen. Beiden gemeinsam ist, daß sie wesentlich durch Niveauunterschied benachbarter Elementarlamellen in die Erscheinung treten. Aber während der freie Rand einer Wachstumszone bei typischer Aus-

bildung gar keine geschlossene Linie darstellt, sondern nur bei schwacher Vergrößerung als solche erscheint, bei starker aber in die einzelnen isolierten, heranwachsenden Perlmutterblättchen sich auflöst, ist eine Niveaulinie als Bruchrand einer fertigen Perlmutterlamelle stets kontinuierlich. Hier handelt es sich um eine künstlich erzeugte, wenn auch im Bau der Perlmuttermasse präformierte Struktur, dort um eine natürliche. Beide hängen aber insofern zusammen, als die Wachstumsvorgänge die Präformation der Niveaulinien bedingen.

Unsere Erörterungen über die Niveaulinien an Flachschliffen finden ihre Stütze und Ergänzung durch Untersuchung von Perlmutterspaltblättchen, die durch Behandlung mit Kalilauge gewonnen wurden (Fig. 38, Taf. 3). Kleineren Spaltblättchen fehlen die Niveaulinien ganz, weil ihre Fläche in der vollen Ausdehnung mit der Grenze zweier Elementarlamellen zusammenfällt. Bei größeren Spaltblättchen ziehen die Linien regelmäßig in weiteren Abständen voneinander als durchschnittlich an Flachschliffen zu beobachten ist. Die Trennung benachbarter Spaltblättchen erfolgt eben gemäß dem Gefüge — Lamellierung und Flächenfelderung — der Perlmuttermasse. Nicht selten erweisen sich an Spaltblättchen die Niveaulinien als Stellen, an denen die Ebene des Blättchens sich gleich um eine Anzahl von Elementarlamellen sprungweise ändert.

Der größere Abstand der Linien an Spaltblättchen läßt einige Eigentümlichkeiten deutlicher als am Flachschliff erscheinen. Man gewahrt, daß die Linien sehr häufig frei enden (Fig. 38, Taf. 3). Das bedeutet (wie die gleiche Erscheinung an den Wachstumszonen, s. S. 29), daß die Niveaus zweier Elementarlamellen allmählich ineinander übergeführt werden, mit anderen Worten, daß eine Elementarlamelle zwischen den benachbarten sich auskeilt.

Unser Gesamtergebnis betr. die Niveaulinien läßt sich so fassen: Diese Linien entsprechen den Kanten von Elementarlamellen und gehen stets den seitlichen Grenzen von Perlmutterblättchen entlang. Sie werden dadurch erzeugt, daß bei Schliffführung parallel einer Elementarlamelle Gruppen von Perlmutterblättchen aus ihr herausgerissen werden, bei Schrägschliffen aber die auf der Schleifebene austretenden Lamellen abgebrochen werden. Die Niveaulinien stellen also an sich keine natürliche Struktur der Perlmuttermasse dar, sondern werden durch das im Vergleich zur Dicke der Elementarlamellen grobe Schleifverfahren erzeugt, sind aber präformiert, einerseits durch die Lamellie-

rung, andererseits durch die Zusammensetzung der Elementarlamellen aus Perlmutterblättchen.

2. Die Flächenfelderung und die isolierten Perlmutterblättchen.

Wie wir aus der Entwicklung der Elementarlamellen wissen (s. S. 32 f.), bleibt ihr Aufbau aus einzelnen Perlmutterblättchen in Form der Flächenfelderung mehr oder minder kenntlich (vgl. Fig. 34, Taf. 3). Es ist daher selbstverständlich, daß auch Elementarlamellen, die durch Anschleifen freigelegt werden, die „netzige“ oder „zellige“ Zeichnung aufweisen müssen, die von vielen Autoren bei ihnen beschrieben worden ist. Die Kenntnis vom Wesen der einzelnen Perlmutterblättchen (Aragonitkristalle!) und von der Art ihres Zusammenschlusses zu den Elementarlamellen bewahrt uns aber vor der Versuchung, zwischen dieser Felderung und den sezernierenden Epithelzellen des Mantels irgendwelche Beziehungen herstellen zu wollen.

Nicht an allen Flachschliffen ist die Flächenfelderung gleich gut zu beobachten. Aber auch dort, wo sie scheinbar fehlt, läßt sie sich durch Behandlung mit Kalilauge (also am Spaltblättchen) oder mit Säuren (HCl, NO_3H) aufs deutlichste hervorrufen, wie schon andere Forscher betont haben, ohne diese Wirkung von Lauge und Säure im einzelnen zu erklären. Die Lauge beeinflußt das die einzelnen Perlmutterblättchen verkittende Conchin, bringt es zum Erweichen, Aufquellen und verringert damit seine Lichtbrechung, erhöht also den Unterschied der Brechungsindices von Aragonit und Conchin und verdeutlicht somit die Grenzen der Perlmutterblättchen (Fig. 36, Taf. 3). Bei längerer Einwirkung der Lauge tritt eine Lockerung des Gefüges der einzelnen Elementarlamellen ein: die Perlmutterblättchen lösen sich allmählich voneinander. Diesen Zerfall kann man häufig in der Nähe der Niveaulinien von Spaltblättchen feststellen.

Säure dagegen greift die Aragonitkristalle an und löst die Perlmutterblättchen sowohl von ihrer Fläche als auch von den Kanten her. Bei der geringen Dicke der Perlmutterblättchen macht sich die Säurewirkung in Flächenansicht erst dann bemerkbar, wenn ein Perlmutterblättchen ganz gelöst ist und das ihm entsprechende vertiefte Feldchen (s. Biedermann, S. 61) in dem umhüllenden Conchin zurückgeblieben ist. Die Lösung der Perlmutterblättchen von ihren Kanten her, erzeugt aber an Stelle ihrer feinen Grenzlinien

(der Flächenfelderung) ein sehr viel gröberes Furchensystem (Fig. 40, Taf. 3), das bereits nach ganz kurzer Ätzung erscheint und bei schwachen Vergrößerungen auffallend bemerkbar wird. An so behandelten Schliffen verschwinden die Niveaulinien fast ganz. Häufig sieht man, daß das Furchensystem nicht ein geschlossenes Maschenwerk darstellt, sondern daß die Linien des polygonalen Netzes vielfach unterbrochen sind. Das hängt offenbar mit partiellen Verwachsungen benachbarter Perlmutterblättchen zusammen; wenigstens sprechen dafür auch die Ergebnisse der völligen Isolation der letzten durch Kalilauge.

Gemäß der unregelmäßig polygonalen Form, welche die Perlmutterblättchen durch Ausbildung der Kontaktflächen gegen Ende ihrer Verschmelzung annehmen, erscheint auch die Flächenfelderung der Schliffe in solcher Gestalt als Netz mit größeren und kleineren, rundlich-vieleckigen Maschen. Nur dort, wo die Perlmutterblättchen während ihrer Bildung eine ausgesprochen rechteckige Form aufweisen, wird diese auch durch die Verschmelzung nicht ganz verwischt und die Flächenfelderung bietet sich als Netz mit langgestreckten, in bestimmter Richtung gestellten Maschen dar (*Pinna*, Fig. 41, Taf. 3).

Lang anhaltende Einwirkung von Kalilauge zerlegt die Perlmuttermasse schließlich in ihre Bauelemente, die Perlmutterblättchen. Man kann diesen Vorgang durch Zerdrücken von Spaltblättchen beschleunigen. Alsdann entstehen zahlreiche Fragmente oft nur von der Dicke einzelner Elementarlamellen, die teils kleine Gruppen von Perlmutterblättchen darstellen, deren Grenzlinien aufs schärfste hervortreten (Fig. 36, Taf. 3), teils aber auch einzelne Perlmutterblättchen (Fig. 37, Taf. 3). Die letzten repräsentieren meist einzelne Aragonitkristalle, an denen sich gelegentlich die geradlinigen und unter charakteristischem Winkel sich schneidenden Kristall- von den gekrümmten Kontaktflächen wohl voneinander unterscheiden lassen. In anderen Fällen aber stellen die Blättchen Verwachsungsprodukte aus mehreren Kristallen dar. Das letzte gilt vor allem für die Perlmutterelemente, die man in dieser Weise bei *Pinna* isolieren kann, die ja gemäß den Bildern auf der wachsenden Perlmutterfläche frühzeitig reihenweise miteinander verschmelzen, offenbar ohne daß Conchinmengen zwischen ihnen übrig blieben.

Römer (a. a. O., s. S. 61) hat einen wabigen Bau der Perlmutterblättchen beschrieben. Ich habe davon nichts beobachten können,

wie denn auch nach meiner Ansicht der helle Saum der Blättchen nicht durch eine Wabenreihe, sondern durch die Lichtbrechungserscheinungen an den Kanten veranlaßt wird. Wohl aber tritt beim Erhitzen der Spaltblättchen, sei es auf dem Platinblech, sei es durch Eintragen in geschmolzenes Jodkali, eine Alveolarstruktur hervor. Ich glaube aber nicht, daß man daraus auf eine Präexistenz der Wabenstruktur schließen darf, sondern nehme an, daß diese Erscheinung durch das Auftreten von Gasen (Wasserdampf, Kohlensäure?) infolge des Erhitzens der Aragonitkristalle zustande kommt.

3. Die Reihenstreifung.

Während Niveaulinien und Flächenfelderung, die letzte mindestens nach Ätzung, an jedem Perlmutterschliff zu sehen sind, daher auch häufig beschrieben wurden, gehört die nunmehr zu schildernde Struktur, die Reihenstreifung, nicht zu den unerläßlichen Attributen eines Flachschliffes und Spaltblättchens. Gut konnte ich sie beobachten bei *Meleagrina* und *Margaritana*, ausgezeichnet bei *Pinna*, weniger deutlich bei *Nucula* und *Anodonta*. Schon früher (S. 32) wurde bemerkt, daß sie auch an Dünnschliffen, welche auf einer Seite die natürliche Innenfläche der Schale enthalten, sichtbar sein kann (Fig. 2 u. 9, Taf. 1).

Es handelt sich um eine zarte, verwaschene Streifung aus undeutlichen, wie gekörnt erscheinenden Zügen, die bei guter Ausbildung über ein größeres Gebiet hin annähernd parallel verlaufen (Fig. 38, Taf. 3), aber von Zeit zu Zeit geringe Knickungen erkennen lassen. Diese Struktur erscheint deutlich, wenn das Objektiv auf das Innere (nicht auf die Oberfläche) des Schliffes eingestellt wird; Systeme mittlerer Apertur mit nicht zu geringer Tiefenschärfe eignen sich am besten zu ihrer Beobachtung.

Das Wesen der Reihenstreifung ergibt sich am einfachsten bei *Pinna*, insbesondere, wenn man Präparate heranzieht, an denen zugleich die natürliche Perlmutteroberfläche erhalten ist. Die letzte zeigt hier die rechteckigen Perlmutterblättchen zu langen, parallelen Reihen angeordnet. Mit deren Verlauf und Breite stimmt nun die Streifung vollkommen überein, die bei Einstellung auf das Innere eines solchen Schliffes hervortritt. Somit ist die Reihenstreifung bedingt durch die reihenweise Verschmelzung der Perlmutterblättchen während ihrer Bildung. Daß diese Reihen auch in der fertigen Perlmuttermasse kenntlich bleiben, hängt offenbar damit zusammen, daß

benachbarte Reihen sich nicht so innig miteinander vereinigen, wie die innerhalb derselben aufeinander folgenden Perlmutterblättchen. Das ergibt sich für *Pinna* insbesondere daraus, daß zwischen benachbarten Reihen oft feine, mit Luft erfüllte, im Schliff dunkel erscheinende Lücken bestehen bleiben (Fig. 42, Taf. 3), welcher die Streifung aufs schärfste markieren. Aber auch dort, wo jene Lücken fehlen, kann man die Grenzen der Reihen als zarte Linien wahrnehmen (Fig. 42, Taf. 3). Auch der Umstand, daß nach Kalilaugebehandlung die Perlmuttermasse von *Pinna* beim Zerdrücken in Fragmente zerfällt, die aus einer Anzahl hintereinander gelegener Perlmutterblättchen bestehen, spricht für eine gewisse Selbständigkeit der Reihen in den einzelnen Elementarlamellen.

Da die lange Seite der rechteckigen Perlmutterblättchen bei *Pinna* (im allgemeinen) der Makrodiagonale parallel geht (starke Ausbildung der Querflächen), so fällt die Richtung der Reihenstreifung mit der Achsenebene überein und durch optische Prüfung läßt sich auch an Schliffen, welche nicht die natürliche Innenfläche der Perlmutterlage besitzen, dartun, daß die Reihenstreifung mit der Längsrichtung der Rechtecke und also mit den Reihen auf der wachsenden Perlmutterfläche Hand in Hand geht.

Bei *Pinna* ist die Reihenstreifung entsprechend der bedeutenden Größe der Perlmutterblättchen verhältnismäßig grob, bei den übrigen genannten Formen viel feiner und der Nachweis ihrer Entstehung daher nicht so leicht zu führen wie dort. Da sie aber auch bei *Meleagrina, Margaritana* usw. mit der Achsenebene übereinfällt, so ist an ihrer Identität mit jener von *Pinna* kein Zweifel möglich. Und hier muß daran erinnert werden, daß bei diesen Formen die rhombischen Perlmutterblättchen die Neigung zeigen, sich reihenweise und zwar wiederum in Richtung der Makrodiagonale zu vereinen (vgl. S. 32 u. 39). Wenn eine solche ausgesprochene Reihenanordnung der Anlagen vorliegt (z. B. Fig. 3, Taf. 1), dann erfolgt der Zusammenschluß einer in Bildung befindlichen Elementarlamelle zuletzt zwischen benachbarten Reihen und wenn es auch nur selten geschieht, daß wirkliche Lücken übrig bleiben, so liegt doch im Hinblick auf *Pinna* nahe, daß die Verschmelzung hier ebenfalls weniger innig wird. In der Tat läßt sich auch hier öfter feststellen, daß die Richtung der Reihen auf der wachsenden Perlmutterfläche mit der Reihenstreifung im Inneren der Perlmuttermasse zusammenfällt.

Jedenfalls läßt eine gleichmäßig entwickelte Reihen-

streifung ohne weiteres den Schluß auf eine ausgesprochene Parallelanordnung der Perlmutterblättchen während ihrer Bildung zu, und andererseits spricht unregelmäßige Reihenstreifung gegen optisch gleichartige Orientierung der Bauelemente des Perlmutters. Nicht ganz selten nämlich findet man auf einem beschränkten Gebiet die Reihenstreifung in Form zarter paralleler Liniengruppen, die sich in den verschiedensten Winkeln überschneiden (Fig. 39, Taf. 3, *Anodonta*; s. auch S. 58, Möbius). Eine genaue Prüfung ergibt, daß die sich kreuzenden Linien nicht derselben Ebene, d. h. der gleichen Elementarlamelle, angehören. Der Verlauf der Reihen der Perlmutteranlagen hat also an ein und derselben Stelle in übereinander liegenden Elementarlamellen mehrfach gewechselt. Wir werden bei der Besprechung der optischen Eigenschaften der Perlmuttermasse nochmals auf die Reihenstreifung zurückkommen.

III. Die Strukturen am Perlmutterquerschliff.

a) Historisches.

Die älteren Forscher sprechen nur von einer feinen horizontalen Streifung oder Lamellierung, die auf Querschliffen durch die Perlmutterlage sichtbar sei, und selbst bei manchen neueren Autoren wird das Querschliffsbild in ähnlicher Form kurz abgetan. In der Tat sind sehr dünne Schliffe und ausgezeichnete optische Mittel nötig, um tiefer in die Einzelheiten einzudringen.

Möbius (1857, p. 71) berichtet, daß die Schichtlinien der Perlmuttermasse, die in Perlen konzentrisch angeordnet sind, selten geschlossene Kurven darstellen, meist sich zwischeneinander verlieren, ohne einen ganzen Umlauf zu vollenden, und somit ebenso wie die „Interferenzfurchen" der Oberfläche lehren, daß die Perle nicht durch ganze Kugelschalen, sondern durch Auflagerungen kleiner Abteilungen wächst. Die konzentrischen Schichtungslinien werden von zwei Systemen äußerst feiner Linien in Winkeln von ungefähr 10—15^0 geschnitten, während diese sich selbst in einem Winkel von ungefähr 20—30^0 durchkreuzen. Am deutlichsten erscheinen sie in Perlen von schönem Wasser und um so klarer, je dünner die Schliffe sind. Bei langsamer Näherung oder Entfernung des Objektivs treten die Linien der verschiedenen Systeme abwechselnd hervor, woraus zu schließen ist, daß sie auf einer inneren Struktur beruhen und zwar auf der ungleichen Neigung der Schichtenteilchen gegen die geschliffene Oberfläche. In Schliffen, die eine Partie der Schichten in spitzem Winkel schneiden, sieht man Übergänge von den Interferenzfurchen zu diesen Linien. Wahrscheinlich sei auch, daß die feinen dunklen Linien am Flachschliff (wir glaubten diese

Angabe von Möbius auf die Reihenstreifung beziehen zu müssen, s. S. 58) an der Bildung der in Rede stehenden Liniensysteme und überhaupt an dem fein punktierten Aussehen der Perlmutterquerschnitte Anteil haben. Da sich die feinen dunklen Linien in aufeinander folgenden Schichen nicht deckten, sei es erklärlich, wie sie sich in Querschnitten, gleich quincuncial geordneten Punkten, zu schiefen Linien summieren können.

v. Nathusius-Königsborn (1877, p. 66) beobachtete bei *Mytilus* eine Struktur, welche die blätterigen Lagen des Perlmutters senkrecht durchsetzt und so in prismatische Septen gliedert. Diese Erscheinung bringt der Autor mit der Netzzeichnung im Flachschliff in Zusammenhang.

Auch Tullberg (1882, p. 19) schließt aus der netzähnlichen Zeichnung am Flachschliff bei *Mytilus* auf einen prismatischen Bau der Perlmuttermasse.

Nach v. Gümbel (1884, p. 391) bietet Perlmutter im Querschnitt das Bild übereinander liegender, durch schmale Zwischenräume getrennter, feinwelliger und gefalteter Blätter, von denen einzelne nach der einen Seite sich auskeilen und endigen, andere nach der entgegengesetzten. Die Zwischenräume zwischen diesen Blättern sind von Kalk ausgefüllt. Die parallelen dünnen Membranen sind unter sich wieder durch Häutchen verbunden, da bei der Entkalkung von Querdünnschliffen an den Enden der Hauptmembranen keine frei vorstehenden Fasern vorhanden sind, sondern mehr oder weniger parallele Streifchen, welche quer durch feine punktierte Häutchen mit den benachbarten zusammenhängen. Außerdem sind noch dunklere, senkrecht zur Blätterlage ziehende Streifen bemerkbar.

Weiterhin bringt Ehrenbaum (1885, p. 9—13) eingehende Mitteilungen über das Aussehen von Perlmutterquerschliffen bei *Mytilus*. Äußerst zahlreiche, fast ganz gerade und parallel miteinander verlaufende Linien von sehr geringem Abstand ziehen weite Strecken ohne Unterbrechung, anderswo durch Querwände geschieden, die dem Ganzen ein auffallend backsteinbauähnliches Aussehen verleihen. Dieses Strukturverhältnis steht im engsten Zusammenhang mit einer prismatischen Gliederung, die nicht immer gleich deutlich hervortritt, zuweilen aber so auffallend ist, daß sie die lamelläre Anordnung in den Hintergrund drängt. Die Prismen erscheinen wellig durcheinander gebogen, so daß das Ganze oft den Eindruck eines Geflechtes macht; auch stehen sie nicht immer lotrecht zur Ebene der Lamellen, sondern häufig etwas geneigt. Diese prismatische Gliederung findet in der Flächenansicht in der polygonalen Felderung ihren Ausdruck und lehrt somit, daß die Septierung benachbarter Schichten einander entspricht und die Conchinmembranen eine geringere Kohärenz in der Richtung der Lamellen als in der darauf senkrechten zeigen. An Stellen, an denen das Backsteingefüge zutage tritt, ist der Zusammenhang zwischen benachbarten Schichten weniger eng: jede einzelne Lamelle oder je ein paar zusammen zeigen abweichende Gliederung von den Nachbarschichten. Die kurzen Querwände des Backsteingefüges sind nichts anderes

als häufig aus der Ebene des Schliffes heraustretende Zacken der Lamellen, welche, von der Fläche gesehen, jene eigentümlichen Zickzacklinien repräsentieren.

Auch F. MÜLLER (1885) findet auf den Perlmutterquerschliffen stellenweise Andeutungen von wirklichen Prismen und bezieht die senkrechte Streifung der Perlmutter auf dem Querschliff auf die polyedrische Felderung der Perlmutterlamellen (p. 328).

Im Gegensatz zu älteren Mitteilungen findet MOYNIER DE VILLEPOIX (1892, p. 482—483) bei *Anodonta* keine Spur von Zwischenwänden zwischen den Conchinblättern senkrecht zur Oberfläche und hält es für schwierig, sich vorzustellen, daß sich hier Prismenblätter bildeten, so klein sie auch sein möchten. Doch konnte der Autor an Schliffen eine feine Streifung senkrecht zu den Lamellen feststellen. Bei der Lamellierung wechselt das Verhältnis von Conchin und Kalk in merklicher Weise: bei „lamellärer“ Struktur überwiege der Kalk, bei sehr reichlicher organischer Masse gewännen die Perlmutterlamellen auf dem Schnitt ein Aussehen, das an „Fibrillen“struktur glauben mache (p. 485).

BIEDERMANN (1901, p. 25—26) bringt die prismatische Gliederung der Perlmuttermasse auf dem Querschliff mit der Absonderung der einzelnen Portionen durch die Mantelzellen in Verbindung; bei *Meleagrina* sah er am Querschliff außer der Horizontalschichtung ein dichtes Liniensystem, das jene unter einem Winkel von 45° kreuzte.

Nachdem nun bereits mancherlei Strukturen am Perlmutterquerschliff und gerade bei *Mytilus* beobachtet waren, äußerte LIST (1902, p. 71) für diese Form: „Auf einem Schliff quer durch die Schale läßt sich nur konstatieren, daß die ganze Schicht aus dünnsten, der Schalenfläche parallel gerichteten Lamellen besteht, die sich als feinste Linien kundgeben. Von irgendeiner anderen Struktur . . . fehlt in normalen Schalen jede Spur.“

Besondere Aufmerksamkeit hat dann wieder RÖMER (1903, p. 448f.) den Strukturen am Querschliff geschenkt. An der Perlmutterschicht von *Margaritana* sah er verwaschene Schichtstreifen, die von faserartigen Gebilden schiefwinkelig gekreuzt wurden. Unter homogener Immersion gewahrte er, daß je zwei solcher Fasern eine Strecke weit parallel verlaufen, schließlich aber zusammentreffen, so daß sie einen an beiden Enden in Spitzen ausgezogenen Streifen zwischen sich fassen, der eine feine aber sehr deutliche Querstreifung erkennen lasse. Zunächst neigte RÖMER der Ansicht EHRENBAUM's zu, die Perlmutterlage sei aus lauter Prismen zusammengesetzt, die von denen der eigentlichen Prismenlage nur durch geringere Größe und unregelmäßige Gestalt unterschieden seien. Aber an Flächenschliffen sei nichts wahrzunehmen, was auf eine solche prismatische Struktur schließen lasse. Vielmehr weise bei allerstärksten Vergrößerungen (Immersion 2 mm und Komp.-Okular 18) die Perlmutterlage feine Schichten auf, die in regelmäßigen Intervallen auseinander weichen und so kleine, etwa linsenförmige Hohlräume zwischen sich einschließen. Diese Hohlräume sind in schrägen Reihen untereinander geordnet und von ihnen gehen in vielen Fällen feine

dunkle, spaltartige Linien aus, die insgesamt die Dicke der Perlmutter treppenartig durchsetzen. Die Treppen sind nicht Kunstprodukte. Zerdrückt man einen dünnen Querschliff, dann läßt sich erkennen, daß die Treppenstufe meist die Dicke einer Elementarschicht hat und die Elementarschichten durch die Sprünge in viele rechteckige Stücke von etwa gleicher Größe zerlegt werden. An manchen Stellen der Perlmuttermasse fehlen die linsenförmigen Hohlräumchen.

Die Untersuchung entkalkter Schalenstücke läßt es Römer (a. a. O., p. 463) als wahrscheinlich gelten, daß die Conchinmasse der Perlmuttersubstanz einen gekammerten Bau zeigt; in den einzelnen Kammern ist der Kalk in Form der Perlmutterblättchen eingeschlossen.

Korschelt (1912, p. 117—118) äußert zusammenfassend, daß die Perlmutterschicht auf Querschliffen eine parallele Streifung zeigt, deren Linien gelegentlich aussetzen und dann von neuem beginnen; sie bestehen somit aus feinsten durchscheinenden Lagen oder Blättern, die sich aber nicht über den ganzen Bereich der Schale erstrecken, sondern gegeneinander bzw. gegen die Prismen und Periostracumschichten unregelmäßige Abgrenzungen zeigen.

Rubbel (1912, p. 300) erwähnt für *Margaritana*, die Perlmutterlamellen seien so außerordentlich fein, daß ihre Bänder sich selbst bei den stärksten Vergrößerungen nicht in einzelne Lamellen auflösen ließen. Ferner (p. 301) sei die „innere Perlmutterschicht" (die nach innen von der durch die „helle Schicht" der Mantellinie bestimmten Grenze liegt) nicht so homogen wie die „äußere"; es wechselten hier scheinbar dickere und dünnere Lamellen miteinander ab, indessen lasse sich nicht entscheiden, ob nicht auch dichtere oder weniger dichte Lagerung in Frage komme. An Perlenschliffen konnte Rubbel, dort wo die Lamellen nicht zu gedrängt liegen, feststellen, daß ihre Dicke nur einen Bruchteil von 1 μ betragen kann (p. 343).

Jameson (1912, p. 304) nähert sich in vielen Punkten den Anschauungen von Römer (s. o.). Die organische Basis, welche die Form bestimmt, und ihre Irideszenz nach dem Entkalken behält, besteht aus einer Reihe sehr feiner, paralleler Lamellen, die untereinander durch radiale Züge verbunden sind, so daß sie eine Reihe kleiner, flacher oder linsenförmiger Kämmerchen bilden. In diesen scheint der Kalk in Form kleiner polygonaler Platten oder Rauten eingeschlossen zu sein, eine Struktur, die schwer zu beobachten sei. In der körnigen Ausbesserungsperlmutter, die bei Schalenverletzungen oder Eindringen eines Fremdkörpers zwischen Epithel und Schale entsteht, ist die normale Schichtung durch ein ausgesprochen körniges Verhalten der Masse verdeckt, das auf einer großen Zahl von Verbindungen zwischen den benachbarten Conchinlagen beruht, die dadurch zu alveolären Membranen werden (p. 310). Diese Querverbindungen der benachbarten Conchinlamellen können im Ausbesserungsperlmutter sehr mächtig werden (p. 317). Damit bildet sich eine prismatische Gliederung der Perlmuttersubstanz aus,

die Übergänge zu der „säulenförmigen Ausbesserungsmasse“ darbieten kann (p. 311 u. 314).

Nach Rassbach (1912) kommt dem Querschliff der Perlmutterlage von *Anodonta* eine feine lamelläre Schichtung zu. Dieser lamellären Struktur entsprechen zarte Conchinlamellen, die sich zum Unterschied aller übrigen organischen Bestandteile mit Hämatoxylin blau färben. Neben der lamellären Streifung beobachtete der Autor eine zweite, die unter einem Winkel von 45⁰ gegen die erste geneigt ist, und zwar so, daß sie von der Außenseite der Schale schräg nach der Innenfläche der Perlmutterschicht verläuft, eine Struktur, die andere Autoren gesehen, aber Biedermann gerade bei *Anodonta* nicht feststellen konnte. Ein backsteinbauähnliches Aussehen war bei *Anodonta* ebensowenig zur Anschauung zu bringen, wie die linsenförmigen Hohlräumchen Römer's, und daher lehnt Rassbach eine prismatische Gliederung der Perlmutterschicht für diese Form ab. Auf entkalkten Schliffen war von der Schrägstreifung nichts mehr zu sehen, so daß sie nach dem Autor nicht von der Anordnung der organischen Bestandteile, sondern wohl nur von der des eingelagerten Kalkes abhängen könne.

Neumann hebt hervor, daß erst bei den stärksten Vergrößerungen die Perlmutterquerschliffstrukturen genau zu erkennen sind. Die Schichtlinien setzen gelegentlich aus, um später wieder von neuem zu beginnen. An den Querschliffen von *Unio* war zuweilen eine treppenartige Durchsetzung der Perlmutterlamellen zu erkennen. Bei *Margaritana* konnte Neumann nicht die von Römer beschriebenen linsenförmigen Räumchen zwischen den Schichten feststellen. Die Dicke der Lamellen beträgt nach Neumann durchschnittlich bei *Unio* 1,7 μ, bei *Margaritana* 1,2 μ, bei *Anodonta* 1,1 μ, bei *Meleagrina* 0,5 μ, bei *Haliotis* 0,5 μ.

Die vorstehende Zusammenfassung läßt erkennen, daß mancherlei Strukturen am Perlmutterschliff beobachtet und beschrieben worden sind, daß aber die Feststellungen der einzelnen Forscher recht weit auseinandergehen und keine allgemeine Anerkennung gefunden haben, obwohl die Autoren bisweilen ihren Untersuchungen die gleichen Formen zugrunde legten.

b) Eigene Untersuchungen.

Unsere Befunde am Flachschliff und an der natürlichen Innenfläche gestatten uns, die am Querschliff zu erwartenden Strukturen vorauszusagen. Wissen wir doch bereits, daß Perlmutter aus Elementarlamellen besteht, die horizontal übereinander geschichtet sind, und deren jede aus einer Unmenge von Perlmutterblättchen zusammengefügt ist. Auf dem Querschliff müssen demnach die Grenzen der einzelnen Elementarlamellen als eine Horizontalstreifung erscheinen, deren Linienabstand durch die Dicke der Elementarlamellen, bzw. der Perlmutterblättchen, gegeben ist; ferner aber müssen in jeder Elementarlamelle senkrecht zu den

Lamellen die Grenzen der einzelnen Blättchen wahrnehmbar sein; die letztgenannte Struktur würde dem Durchschnitt der polygonalen Flächenfelderung entsprechen.

In der Tat zeigt jeder hinreichend dünne und einigermaßen senkrecht zu den Elementarlamellen geführte Perlmutterquerschliff unter genügender Vergrößerung eine Horizontalschichtung, die der Aufbau aus den Elementarlamellen bedingt, und feine senkrechte Querstriche, entsprechend den Seitenkanten der einzelnen Perlmutterblättchen. Die beiderlei Liniensysteme vereinigen sich in der Regel zu einem Bilde, das sehr an das Aussehen eines Mauerwerkes aus dünnen (römischen) Ziegeln erinnert (Fig. 43, 44, 46, Taf. 4): „backsteinbauähnliches" Aussehen (Ehrenbaum). Ich betone ausdrücklich, daß diese Struktur, die von früheren Autoren nur unvollkommen und hier und da bei einzelnen Arten wahrgenommen wurde, eine typische und stets wiederkehrende Erscheinung, kurz die Querschliffsstruktur ist, wie es ja gemäß der Bildung der Perlmutter gar nicht anders sein kann. Bei allen Familien der Muscheln, deren Perlmutterlage ich am Querschliff untersuchen konnte, war sie nachweisbar, so bei den Nuculiden, Trigoniiden, Mytiliden, Unioniden (*Unio, Anodonta, Margaritana*) und Aviculiden (*Meleagrina, Pinna*).

Allerdings ist die Deutlichkeit, mit der sie hervortritt, nach den einzelnen Präparaten sehr verschieden. Je dünner die Schliffe, um so schöner sind die Bilder. Da nun die Randteile der Schliffe fast stets die dünnsten Teile des Präparates enthalten, so sind sie die Stellen, an welchen der „Backsteinbau" oft schon wahrnehmbar ist, wenn im übrigen Schliff nur wenig davon zu sehen sein kann. Dazu kommt auch noch, daß die Randteile am meisten Stößen u. dgl. beim Schleifen ausgesetzt sind, so daß bisweilen der Zusammenhalt der Perlmuttermasse hier gelockert ist und dabei die Grenzen der Perlmutterblättchen besser kenntlich werden. Überhaupt lenkt die eigenartige Beschaffenheit der seitlichen (der Schichtdicke entsprechenden) Ränder der Querschliffe leicht zuerst die Aufmerksamkeit auf die in Rede stehenden Strukturen. Hier brechen nämlich aus einzelnen Lagen fast stets Perlmutterblättchen aus, während die von dazwischen gelegenen Elementarlamellen stehen bleiben. Der so geschaffene Anblick erinnert sehr an eine Ziegelmauer, aus der ein Stück entfernt wurde und erleichtert die Deutung der auf der Schliffläche wahrnehmbaren Einzelheiten. Hier wird die Struktur gelegentlich durch lokale Lockerungen der Perlmutter-

masse verdeutlicht, wie sie beim Feilen und Schleifen auftreten können.

Das beste Mittel, um Horizontalschichtung und Querstriche über die ganze Schliffläche mit großer Klarheit zum Vorschein zu bringen, besteht im Anätzen mit Säure (HCl, NO_3H). Nicht nur werden damit Verunreinigungen der Schliffläche, Schleifstaub u. dgl., die bei schwachen Vergrößerungen kaum in die Erscheinung treten, bei den zum Studium der Struktur nötigen stärksten aber unliebsam stören können, am einfachsten beseitigt, sondern die Grenzlinien erscheinen vergröbert. Das beruht (ebenso wie die Verdeutlichung der Flächenfelderung durch Anätzen) darauf, daß die Perlmutterblättchen außer von der Schliffläche auch von ihren gegenseitigen Grenzen her aufgelöst werden und so an Stelle der Grenzlinien mehr oder minder breite Furchen erscheinen. Bei längerer Säurewirkung werden die oberflächlichen Perlmutterblättchen ganz gelöst und es bleiben dann die zwischen ihnen befindlichen, ihrer Form entsprechenden Conchinlamellen zurück. Sie sind so dünn, daß sie in Flächenansicht bei derartigen oberflächlich entkalkten Schliffen kaum bemerkbar werden. Aber wenn ich solche Schliffe trocken in dicken Balsam eintrug, adhärierten in den winzigen Vertiefungen gelegentlich entsprechend gestaltete Luftmassen und sie ließen den Backsteinbau auch schon bei schwachen Vergrößerungen mit äußerster Schärfe wahrnehmen. Leider halten sich derartige Präparate nicht lange, weil die Luft allmählich vom Balsam absorbiert wird.

Auch die Beobachtung des Lösungsvorganges von Querschliffen bei starker Vergrößerung gibt guten Aufschluß über den Aufbau der Perlmuttermasse. An den Schliffrändern kann man die Verkleinerung der einzelnen Perlmutterblättchen Schritt für Schritt verfolgen und so deutlich feststellen, daß keineswegs eine Elementarlamelle im ganzen von ihrem Rande her aufgelöst wird, sondern daß der Lösungsvorgang an ihren Bauelementen im einzelnen angreift. Zwischen den einzelnen Perlmutterblättchen treten Lücken auf, so daß sie locker in der zurückbleibenden Conchinmasse liegen, einzeln immer mehr zusammenschmelzen und schließlich ganz schwinden.

Auch das polarisierte Licht ist ein vorzügliches Mittel, um die einzelnen Perlmutterblättchen am Querschliff zum Vorschein zu bringen; wir kommen darauf später noch einmal zurück. An einzelnen Schliffen konnten auch im Dunkelfeld die „Querstriche“ sehr hübsch zur Darstellung gebracht werden.

Es kann wohl als überflüssig gelten, hier im einzelnen darzulegen, daß die genannten Querschliffsbilder keine durch das Schleifen (Sprünge) und Ätzen hervorgerufene Kunstprodukte sind. Die Möglichkeit einer solchen Deutung wird durch unsere Befunde über die Entwicklung der Elementarlamellen völlig ausgeschlossen. Übrigens kann man die Strukturen in der gleichen Weise an kleinsten durch Mazeration mit Kalilauge isolierten Perlmutterbruchstücken beobachten.

Wenden wir uns nunmehr den Einzelheiten der Querschliffsbilder zu. Vielfach wird in der Literatur die Meinung geäußert, daß die Perlmuttermasse sich aus abwechselnden kalkigen und Conchinlamellen zusammensetze. Eine derartige Darstellung des Sachverhaltes ist schon insofern verkehrt, als auch innerhalb der kalkigen Elementarlamellen Conchin enthalten ist, das nämlich die Perlmutterblättchen derselben Lamelle miteinander verbindet. Sie erweckt aber auch leicht die Vorstellung, daß die beiderlei chemisch verschiedenen Lagen einigermaßen von gleicher Stärke seien. Demgegenüber muß nun gleich betont werden, daß das Conchin in äußerst dünnen Lagen[1]) vorhanden ist, die sich kaum dem Mörtel in einem Mauerwerk quantitativ vergleichen lassen, wenn wir im Bild des Backsteinbaues bleiben. Die Conchinlamellen erscheinen wie unmeßbar feine Grenzlinien[1]) der kalkigen Schichten; die organische Substanz stellt gewissermaßen einen spärlichen Kitt dar, der die einzelnen Elementarlamellen (und auch die Perlmutterblättchen in ihnen) miteinander verklebt.

Die Dicke der kalkigen Elementarlamellen dagegen liegt im Bereich einer einigermaßen genauen mikrometrischen Meßbarkeit, sie ist gegeben durch den Abstand zweier horizontaler Conchinlamellen, deren eigene Stärke nach dem eben Gesagten völlig vernachlässigt werden kann. Ich bediente mich zur Messung eines Okularmikrometers im Kompensationsokular 18 mit einstellbarer Augenlinse zusammen mit Apochromat-Immersion 2 mm N. A. 1. 30 von Zeiss. Durch eine kleine Abweichung von der vorgeschriebenen

---

1) Auch Neumann gibt an, die Dicke der Conchinschichten sei mit dem Mikroskop durchaus unmeßbar; doch errechnet er diesen Wert auf Grund von Überlegungen, in betreff deren auf seine Arbeit verwiesen werden muß, zu 0,13—0,09 μ; diese Größen liegen in der Tat unter dem Auflösungsvermögen der Objektive mit höchster numerischer Apertur bei günstigsten Bedingungen für die subjektive Beobachtung.

Tubuslänge wurde der Wert eines Mikrometerinvalls genau auf 1,1 μ gebracht. Die Bestimmung des Mikrometerwertes geschah mit einem Zeiss'schen Objektmikrometer.

Schon der Augenschein (vgl. Fig. 43 u. 46, Taf. 4) lehrt, daß die Dicke benachbarter Lamellen, selbst wenn man nur eine kleine Stelle des Schliffes ins Auge faßt, nicht unerheblichem Wechsel unterliegt, und je mehr Schliffe von verschiedenen Arten, Schalenabschnitten und anscheinend auch Individuen man prüft, um so größer wird die Differenz zwischen den beobachteten Minimal- und Maximalwerten. Oft findet man zwischen Gruppen von Elementarlamellen ziemlich gleichmäßiger Stärke einzelne dicke Lamellen eingeschaltet, was schon bei schwächeren Vergrößerungen unter der Form einer gröberen Gliederung der Perlmutterlage in die Erscheinung treten kann. Oder man sieht (Fig. 46, Taf. 4) an einem Querschliff von einem bestimmten Niveau aus die Dicke der Elementarlamellen sprungweise und oft beträchtlich sich ändern. Ferner stößt man auf mehr lokale Unregelmäßigkeiten dieser Art, sei es, daß die Dicke einer einzelnen Lamelle auf einer bestimmten Strecke allmählich zunimmt, einen Höchstwert erreicht und dann wieder abschwillt, sei es, daß ähnliche Erscheinungen sich an einer beschränkten Zahl benachbarter Lamellen gleichmäßig abspielen.

So können denn die folgenden Angaben nur als grobe Durchschnittswerte gelten. Die stärksten Elementarlamellen unter den von mir gewonnenen Formen besitzt *Unio*, nämlich in einer Dicke von 1,6—1,7 μ im allgemeinen; doch bilden Blättchen von 2,2 μ Dicke keine Seltenheiten; ich beobachtete sogar solche von rund 8 μ Dicke. Auch bei Neumann steht diese Form an erster Stelle (1,7 μ). Für *Margaritana* gibt dieser Autor als Mittel 1,2 μ an; ich finde meist etwas größere Werte, in einzelnen Fällen bis fast 2 μ; für *Meleagrina* komme ich zu wesentlich höheren Werten als Neumann, nämlich zu rund 1 μ (gegenüber 0,5 μ). Bei *Mytilus* finde ich durchschnittlich 1,4 μ, bei *Pinna* bleibt die Dicke meist unter 1 μ (etwa 0,6 μ). Abgesehen von *Meleagrina* stimmen meine Messungen mit denen von Neumann befriedigend überein, wenn man die oben mitgeteilte erhebliche Variabilität der Lamellendicke in Rechnung setzt, in der auch die bestehenden Differenzen ihre Erklärung finden dürften. Jedenfalls kann über die Größenorduung der Lamellendicke kein Zweifel mehr sein; sie bewegt sich durchschnittlich in einem Intervall von 0,5—2 μ.

Auch abgesehen von der wechselnden Dicke weisen die Elementar-

lamellen mancherlei Unregelmäßigkeiten auf. Nicht immer ist der Verlauf schnurgerade, sondern die Lamellen können leichte oder stärkere unregelmäßige Krümmungen zeigen. Bei einem Schliff von *Trigonia* verlaufen die Elementarlamellen in leichten Wellenbiegungen. Genauere Betrachtung wird oft feststellen lassen, daß einzelne Lamellen auskeilend zwischen den beiden benachbarten endigen oder eine (dickere) Lamelle von einer gewissen Stelle an durch zwei (dünnere) fortgeführt wird (Fig. 46, Taf. 4). Auskeilen von Elementarlamellen hatten wir ja auch bereits aus den Bildern von der wachsenden Perlmutterfläche und dem Flachschliff erschlossen.

Normal ausgebildete Perlmutterblättchen sind parallelflächig begrenzt und rechtwinklig bekantet, und deshalb stehen im allgemeinen die Querstriche, welche die einzelnen Blättchen trennen, senkrecht zur Lamellierung. Doch kommen von dieser Normalform mancherlei Abweichungen vor, indem z. B. die Blättchen mehr oder minder gebogen (vgl. Fig. 46 u. 48, Taf. 4), oder in der Mitte dicker oder dünner als am Rande sind. Einseitige Verjüngung der Blättchendicke tritt immer beim Auskeilen einer Elementarlamelle auf. Der seitliche Abstand zweier Querstriche in derselben Lamelle unterliegt ziemlich großen Schwankungen, wie nicht anders zu erwarten ist, da ja die Blättchen einerseits etwas in ihrer Größe wechseln, andererseits aber in verschiedenen Durchmessern im Schliff getroffen werden können.

Faßt man das Verhalten der Querstriche in benachbarten Lamellen ins Auge, so ergeben sich Modifikationen im Aufbau der Perlmuttermasse, die vor allem unter schwächeren Vergrößerungen recht verschieden aussehen können, aber in nur untergeordneten Differenzen bei der Bildung der Elementarlamellen ihre Erklärung finden. Wenn wie gewöhnlich die Permutterblättchen von derselben Durchschnittsgröße sind und auf einer fertigen Lamelle die neuen Anlagen regellos zerstreut erscheinen, dann wird im allgemeinen kein Zusammenfallen der seitlichen Blättchengrenzen (also der Querstriche) in benachbarten Lamellen statthaben, und der Erfolg eines solchen Wachstums muß ein Alternieren der Querstriche in aufeinander folgenden Lamellen sein. Mit anderen Worten, es entsteht das Bild des „Backsteinbaus" (Fig. 43, 44, 46, Taf. 4), dem wir bisher fast ausschließlich unsere Aufmerksamkeit zuwandten, dessen Charakter ganz wesentlich durch die horizontalen Linien bestimmt wird.

Legen sich dagegen die neuen Perlmutterblättchen mitten auf

denen der fertigen Elementarlamellen an, dann müssen die Blättchengrenzen in benachbarten Lamellen mehr oder minder genau sich decken, vor allem dann, wenn mehrere übereinander gelegene Lamellen gleichzeitig aufgebaut werden und die Lücken zwischen den Blättchen sich ganz allmählich schließen (wie etwa bei *Pinna*). So erscheinen dann die Perlmutterblättchen durch zahlreiche Lamellen hindurch säulenartig übereinandergeschichtet und die Grenzen dieser Säulen imponieren im Querschliff als Vertikalschichtung (Fig. 47, *Nucula*, Fig. 48 *Pinna* Taf. 4).

Zwischen dem „Backsteinbau“ und der Vertikalschichtung, über die gleich noch genauer berichtet werden soll, steht die treppenartige Anordnung der Querstriche. Hier verschiebt sich in den Säulen gewissermaßen die Seitengrenze der Perlmutterblättchen um einen geringen Betrag von gleichem Durchschnittswert von Lamelle zu Lamelle und stets nach der gleichen Richtung hin. Die so entstehenden Treppen sind bald steiler und nähern sich dann der Vertikalschichtung, bald flacher und bieten dann Übergänge zum Backsteinbau dar. Ich möchte vermuten, daß das treppenartige Übereinandergreifen der in Bildung begriffenen Elementarlamellen Maß und Richtung der Interferenz der Querstriche benachbarter Lamellen bestimmt. Treppenartige Anordnung der Perlmutterblättchen kann schon bei schwachen Vergrößerungen als zarte Zeichnung ungefähr paralleler Streifen kenntlich sein, welche die Lamellierung schräg durchschneiden (Fig. 45, Taf. 4, *Margaritana*). Die Grenzen dieser Streifen erweisen sich bei starker Vergrößerung als die Treppen (Fig. 46, Taf. 4, unterer Teil).

Vertikalschichtung der Perlmuttermasse ist vor allem für *Pinna* (Fig. 48, Taf. 4) charakteristisch und nach den eigenartigen Bildern bei der Entwicklung der Perlmutterlamellen (vgl. Fig. 8, Taf. 1) gar nicht anders zu erwarten, kommt aber auch anderen Formen gelegentlich zu (Fig. 47, *Nucula*). Die Elementarlamellen werden von feinzackigen Linien durchschnitten, die zwar vielfach seitlich ausbiegen und daher sich bald etwas nähern bald etwas voneinander entfernen, im allgemeinen aber parallelen und zur Horizontalschichtung senkrechten Verlauf einhalten. Die stufenartigen Zacken der Linien entsprechen der Dicke je eines Perlmutterblättchens. So erscheint die Perlmuttermasse in säulige oder „prismatische“ Abschnitte gegliedert, hinter denen die Lamellierung zurücktreten kann. Das letzte geschieht vor allem dann, wenn (wie bei *Pinna* Fig. 48, Taf. 4) stellenweise eine exakte Horizontalschichtung, eine strenge Korre-

spondenz der Blättchen im gleichen Niveau überhaupt nicht besteht — was mit dem gleichzeitigen Ausbau zahlreicher Elementarlamellen zusammenhängt — indem jede Säule aus Perlmutterblättchen in einer gewissen Unabhängigkeit von der anderen weitergeführt wird. Da diese Säulen, im ganzen betrachtet, allerlei Ausbiegungen zeigen, ist es verständlich, daß sie in den Schliffen mehr oder minder schräg durchschnitten vorliegen können, und daher ihre Grenzlinien sich hier und da schneiden oder frei endigen. Geht die Schliffebene durchweg etwas schräg zur Längsachse der Säulen, dann kommen Bilder zustande, wie sie Römer (s. o.) beschrieben hat: die Enden der Säulen spitzen sich beiderseits zu. Der mittlere Durchmesser der Säulen (= Abstand der vertikalen Schichtlinien) entspricht natürlich dem der Perlmutterblättchen und bietet eine gute Möglichkeit, ihn auf dem Querschliff zu messen, ähnliches gilt natürlich auch für den — in der Horizontale gemessenen — Abstand der schrägen Treppenlinien.

Die beschriebenen Modifikationen der Perlmuttermasse, wenigstens die backsteinbauartige und die treppenförmige Anordnung der Blättchen, können bei der gleichen Form vorkommen.

Gelegentlich findet sich in der Literatur die Angabe, daß auf dem Querschliff eine scharfe Grenze zwischen Perlmutter- und Prismenlage nicht bestehen. So erwähnt Theile (1893), daß bei den Unioniden (im Gegensatz zu *Avicula*) eine Grenze zwischen beiden kaum wahrzunehmen sei. Auch nach Römer (1903, p. 463) scheinen die Prismen allmählich, aber nicht mit scharf umschriebenen Enden, in die Perlmutter eingepflanzt zu sein. Weiter sagt Rubbel (1912, p. 300), von *Margaritana*, daß an die Grenzlinie von Prismen- und Perlmutterschicht die Geldrollenstreifung der ersten „scheinbar“ in die Perlmutterlamellen übergehe. Und ähnlich äußert Rassbach (1912), bei *Anodonta* gingen die Perlmutterlamellen, wie besonders gut am Schalenrand zu beobachten sei, in die Querstreifen der Prismen über.

Dem entgegen haben wir bereits bei der Schilderung der Anlage der ersten Perlmutter-Elementarlamelle auf der Unterseite der Prismen hervorgehoben, daß diese beiden Schalenlagen vollkommen scharf voneiander getrennt sind. Das mag bei den Aviculiden, deren Prismen im Gegensatz zur Perlmutter aus Calcit bestehen, selbstverständlich erscheinen, läßt sich zudem bei solchen Formen (z. B. *Pinna*) oft sehr leicht dann erkennen, wenn zwischen beide eine Conchinlamelle eingeschaltet ist. Es gilt aber in gleicher Weise für die Unioniden; hinreichend dünne, vor allem geätzte Schliffe

(Fig. 43, Taf. 4, *Margaritana*) lehren, daß Prismen und Perlmutter durch keinerlei Übergänge verknüpft werden. Daß die gröberen Schichtungslinien der beiden koinzidieren erklärt sich bekanntlich aus der gleichzeitigen Ablagerung der betr. Abschnitte der Prismen- und Permutterlage.

Bekanntlich geht die Lamellierung der Perlmuttermasse nur einigermaßen der Schalenfläche parallel; meist bilden die Perlmutterlamellen mit der Prismen-Perlmuttergrenze einen spitzen Winkel. Bei einer reicher ausgestatteten Oberfläche der Schale (wie z. B. oft am Schloßrand) nehmen auch die Lamellen einen verwickelteren Verlauf an und dadurch können auf dem Quer- und Flachschliff Bilder entstehen, die auf den ersten Blick in die Perlmutterstrukturen schlecht hineinzupassen scheinen. Ein Beispiel dieser Art, die Perl-

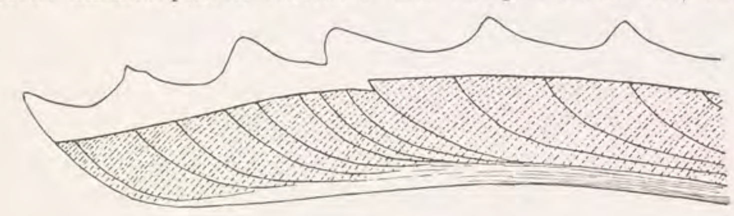


Fig. O. *Trigonia pectinata.*
Schema eines Schalenquerschliffes in radialer Richtung nahe am Schalenrand. Prismen + Perlmutterlage.

mutterlage von *Trigonia pectinata*, soll etwas genauer besprochen werden. Ihre Lagen biegen am freien Schalenrand ziemlich steil aufwärts (Textfig. O), verjüngen sich nach dem Schaleninnern zu und laufen hier der Schalenfläche parallel. Dementsprechend sieht man auf dem Querschliff (Fig. 49, Taf. 4) die groben Schichten der Perlmutterlage etwa unter einem Winkel von 45° an der Prismen-Perlmuttergrenze endigen. Senkrecht zu diesen Schichten verläuft ein System hier und da unterbrochener paralleler Linien, die wie punktiert erscheinen. Es handelt sich um die Vertikalschichtung der Perlmuttermasse, deren einzelne Säulen schon bei schwächeren Objektiven dadurch besonders deutlich abgegrenzt erscheinen, daß sich stellenweise zwischen ihnen kleine Luftmengen befinden; bei stärkeren Vergrößerungen lassen die Säulen den Aufbau aus einzelnen Perlmutterblättchen erkennen. Die Perlmuttermasse erfährt nun dadurch eine weitere Komplikation, daß die Schale außen mit radiären erhabenen Rippen versehen ist, die am Schalenrand etwas vorspringen und so seine wellenförmige Begrenzung ver-

anlassen. In Textfig. O ist eine solche Rippe längsgetroffen und man sieht, daß auch die konzentrischen Zuwachsstreifen der Schale in Form von Höckern auf den Rippen in die Erscheinung treten. Ein Querschliff durch die Schale senkrecht zu den Rippen, gibt ein Bild, das ohne Kenntnis anderer Schliffrichtungen kaum richtig zu deuten wäre (Fig. 50, Taf. 4). Die zur Prismenschicht aufbiegenden Perlmutterlagen (vgl. Fig. 49, Taf. 4) sind schräg durchschnitten; von einer Lamellierung ist nichts zu erkennen; vielmehr beherrschen die nur stückweise in der Schliffebene gelegenen Perlmuttersäulen das Bild allein; sie streben zum First jeder Rippe annähernd senkrecht empor, während sie nach ihren Seiten zu bogigen Verlauf annehmen (Fig. 50, Taf. 4). Eine ähnliche Struktur bietet ein Flachschliff durch eine Rippe in der Höhe der Perlmuttermasse dar (Fig. 51, Taf. 4); auch hier gewahrt man nur die Anordnung der Perlmutterelemente in Säulen, welche in der Mitte der Rippe radiale Richtung (inbezug auf die Schale) einhalten, nach ihren Seiten zu doppelt geschwungen auslaufen. Der Quere nach wird die Rippe von schattigen konzentrischen Kreissegmenten durchsetzt, die ihre Wölbung dem Schalenrand zukehren; sie markieren die verschiedenen Etappen des peripherischen Wachstums der Schale, die Zuwachsstreifen.

Unsere wichtigsten Feststellungen am Querschliff waren folgende. Die Perlmutterblättchen sind durch unmeßbare dünne Lagen von Conchin miteinander verkittet. Ihre Grenzen erscheinen einerseits als Horizontallinien entsprechend der Fläche der Täfelchen bzw. der Elementarlamellen, andererseits als feine senkrechte Querstriche, in denen die Seitenkanten der Perlmutterblättchen aneinander stoßen. Alternieren die Querstriche benachbarter Elementarlamellen regellos miteinander, dann bieten die beiden Liniensysteme insgesamt eine backsteinbauähnliche Zeichnung dar; verschieben sich die Querstriche von einer Lamelle zur anderen um einen geringen Betrag nach der gleichen Richtung hin, so kommt eine treppenförmige Anordnung der Perlmutterblättchen zustande; fallen sie schließlich in zahlreichen aufeinanderfolgenden Lamellen mehr oder minder genau zusammen, so entsteht eine Vertikalschichtung der Perlmutterblättchen, welche zur vorherrschenden Struktur im Bilde werden kann. Die Dicke der Perlmutterblättchen beträgt im Durchschnitt 0,5—2 μ, wenn man die Gesamtheit der untersuchten Formen ins Auge faßt; doch kommen gelegentlich erheblich dickere Blättchen vor. Normalerweise

sind die Perlmutterblättchen ebenflächig und rechtwinklig bekantet; es finden sich aber auch nicht selten unregelmäßige Formen. Perlmutter- und Prismenlage sind scharf voneinander getrennt.

IV. Polarisationsmikroskopische Beobachtungen an Perlmutter.

a) Historisches.

Da die gesamten optischen Erscheinungen der Perlmuttersubstanz durch NEUMANN soeben eine gründliche und vielseitige Untersuchung erfahren habe, und die einschlägige Literatur dort ausführlich gewürdigt wird, so bringe ich hier im wesentlichen nur eine Zusammenstellung der polarisationsmikroskopischen Beobachtungen an der Perlmutter und kann das um so eher tuen, als ich mich allein auf solche beschränkte und die Farbenerscheinungen der Perlmuttermasse außer acht gelassen habe, weil sie für das Verständnis von Bau und Bildung der Perlmutter nur von untergeordneter Bedeutung sind. Mir kam es vor allem darauf an, mittels des Polarisationsmikroskops die Natur der kristallinischen Elementarbestandteile aufzudecken und so eine sichere Deutung für die im gewöhnlichen Licht festgestellten Strukturen zu gewinnen.

Nachdem bereits BREWSTER (1814) die zweiachsige Doppelbrechung der Perlmutter entdeckte, schließt CARPENTER (1844), da alle dünnen Schalenschliffe das Licht depolarisieren, auf einen kristallinischen Zustand der Kalkmasse, selbst wenn sie keine kristallinischen Formen darbietet.

HERSCHEL (1820) stellte fest, daß die schwach wellenförmige Streifung mit der Achsenebene zusammenfällt (s. S. 56).

C. SCHMIDT (1845, p. 53) läßt den Kalk in den Schalen von *Unio* und *Anodonta* in Form spitzer aneinander gereihter Rhomboide enthalten sein, wenigstens zerfalle er beim Behandeln mit Essigsäure in Fasern, unter denen er die einzelnen Bauelemente noch zu erkennen glaubte.

Die Frage, ob der Kalk in der Perlmuttermasse als Aragonit oder Calcit vorliege, hat zuerst LEYDOLT gründlicher behandelt (über ältere diesbezügliche Angaben vgl. bei BIEDERMANN, 1902 u. 1914). An Perlmutterplättchen von *Meleagrina margaritifera* sah er das Achsenbild zweiachsiger Kristalle, und da er zugleich durch Ätzen mit konzentrierter Essigsäure (insbesondere bei *Pinna*) Figuren erhielt, die gemäß ihrer Winkelbeschaffenheit den Gestalten des Aragonits angehörten, so kam er zum Ergebnis, daß die Perlmuttermasse aus Aragonit bestehe und daß allgemein die kleinsten Teile der Kalkschalen schon beim lebenden Tiere eine kristallinische Struktur haben und eine bestimmte Lage besitzen.

Bei diesen Befunden von LEYDOLT (die durch Prüfung der Ätzfiguren und Kristallformen durch ROSE (s. S. 21) Bestätigung und Erweiterung erfuhren) ist es erstaunlich, daß v. HESSLING (1859) den Kalk bei *Meleagrina* und *Unio* (in Prismen und) Perlmutter für amorph, niemals für kristallinisch erklärt, auch annimmt, daß Kalk und organische

Membranen sich aufs innigste durchdringen „chemisch miteinander verbunden“ sind (p. 251).

Erneut prüfte alsdann Valentin (1861, p. 187) das Verhalten von Perlmutterblättchen in polarisiertem Licht. Ein Perlmutterschliff verhält sich nach ihm wie eine Kristallplatte, indem man ihn zwischen den Nicols hin und her schieben könne, ohne daß die Interferenzfigur wechselt, weil hier alle Einzelteile gleichwertig und daher die Bilder von der Örtlichkeit unabhängig seien (p. 183). Er fand aber, daß in gleichen Richtungen von derselben Schale abgesprengte Blättchen nicht selten merklich verschiedene Achsenwinkel geben, obgleich sie sämtlich aus Aragonit bestünden, und äußert die Vermutung, der beobachtete Achsenwinkel sei die Resultante der in verschiedenen Richtungen übereinander liegenden Achsenwinkel der einzelnen mikroskopisch dünnen Blättchen (p. 187). Ein Perlmutterschliff einer fossilen *Perna* zeigte das Bild einer einachsigen Substanz, bei weiterem Schleifen spaltete es sich in zwei Lamellen, die sich als zweiachsig mit ziemlich bedeutenden Achsenwinkeln erwiesen (p. 210—212). *Meleagrina margaritifera* und ihre Perle, käufliches Perlmutter lieferten entschieden zweiachsige Bilder, *Pinna nobilis* vollständig oder annähernd die Bilder einachsiger Kristalle (p. 210). Valentin (p. 211) gibt den Achsenwinkel auf 27—28° an. Die besten Polarisationsbilder liefern Perlmutterblättchen aller Art, wenn ihre Oberfläche bei dünnen stark irisiert und bei dicken Platten in weißen und bläulichen Farben glänzt. Präparate mit matter Oberfläche dagegen, die in einer anderen Richtung als derjenigen der Irisation geschnitten sind, liefern gar keine Polarisationsfiguren oder liefern sie höchstens in der Nachbarschaft abgesplitterter Kanten. Die Achsenbilder wagerechter Schliffe durch die Perlmuttermasse von *Pinna* u. a. wirkten über einem Gipsplättchen verhältnismäßig negativ.

v. Nathusius-Königsborn (1877, p. 49) will das Vorkommen wirklicher Kristallisationen sowohl von Aragonit als Kalkspat nur als Ausnahmefall oder Entwicklungszustand gelten lassen.

Nach Sorby (1879, p. 59) geben einige Varietäten von Perlmutter das charakteristische zweiachsige System des Aragonits im Polariskop. Perlmutter von *Nautilus* soll nach diesem Autor aus dünnen zur Oberfläche parallelen Lagen bestehen, die quer von schmalen kurzen, faserigen Kristallen von Aragonit gekreuzt werden, deren Hauptachse senkrecht zur Oberfläche steht (p. 61).

Während die bisherigen Autoren die Doppelbrechung der Schalenschliffe ohne weiteres dem eingelagerten Kalk zuschrieben, gibt v. Gümbel (1884) an, daß er auch die entkalkten Schalen, also die organischen Häutchen doppelbrechend fand und dabei so viel Unregelmäßigkeiten und Störungen begegnete, daß er es als aussichtslos bezeichnete an noch kalkigen Schalen zu konstanten Ergebnissen zu gelangen (p. 395). Auch findet sich hier die auf Groth zurückgehende Angabe, daß der scheinbare Achsenwinkel auch an entkalkten Präparaten größer als 90° gewesen sei.

EHRENBAUM (1885), der bezweifelt, daß LEYDOLT an Perlmutter das Achsenbild zweiachsiger Kristalle gesehen habe (p. 33), überhaupt dem Vorkommen von Aragonit in den Muschelschalen nicht die wichtige Rolle zuerkennen will, die man ihm zuschreibe (p. 34), weist auf die große Ähnlichkeit hin, die zwischen den HARTING'schen Calcosphäriten von radialfaserigem Gefüge, die, flächenhaft nebeneinander gelegen, sich gegenseitig abplatteten und als polygonal gefelderte Flächen erschienen, und den polygonal gefelderten Perlmutterschichten bestehe, die sich aus ähnlichen Elementen zusammsetzten (p. 36). Im Gegensatz dazu steht allerdings seine Äußerung, daß bei *Pinna* die geradlinig begrenzten Tafelformen (der Kristalle) Übergänge zu den entsprechenden Formen von *Mytilus* zeigten.

MOYNIER DE VILLEPOIX (1892) gibt für *Anodonta* an, daß der kohlensaure Kalk keine wahrnehmbare kristallinische Form darbiete, im amorphen Zustand zwischen den Conchinblättern abgelagert sei und diese wahrscheinlich selbst imprägniere.

DIPPEL (1900, p. 154—155) veröffentlicht Achsenbilder dünner Perlmutterblättchen unter 0° und 45° zu den Polarisationsebenen orientiert, die sich deutlich als zweiachsig erweisen (Achsenwinkel ungefähr 12°).

KELLY (1900) glaubte den Nachweis erbringen zu können, daß die Molluskenschalen (ausgenommen *Ostrea*, *Pecten*, *Anomia* und die Prismenlage von *Pinna* und *Mytilus*) nicht, wie ROSE angab, aus Aragonit, sondern aus einem optisch einachsigen, negativ doppelbrechenden, von Kalkspat verschiedenem Material beständ, dem Conchit (p. 187). Allerdings sah die Autorin auch bisweilen zweiachsige Bilder mit sehr kleinem Winkel. Das muß sie auch „für eine ziemliche Anzahl von Präparaten" in der ausführlichen Arbeit (1901) zugestehen. Der Achsenwinkel war schwankend, selten über 10°. „Wo eine Lamellenstruktur vorkommt, z. B. in der Perlmutterschicht von *Pinna* und *Anodonta* konnte eine einachsige Figur immerhin auf Aragonit hindeuten, wenn man annimmt, daß die Achsenebene in einer Hälfte der Lamellen senkrecht zur Achsenebene der anderen steht, wobei die erste Medianebene normal zur Oberfläche liegt" (p. 435, vgl. auch p. 471). In den Perlmutterschichten erscheint Conchit in Form von Tafeln parallel zur Basis (p. 449). Ein Perlmutterschliff „parallel zur Oberfläche ist fast genau senkrecht zur optischen Achse; die Kristalle sind sehr klein und ihre Achsen parallel; die Depolarisation ist klein" (p. 465). Die hierauf bezüglichen Photogramme sind bei 80facher Vergrößerung im parallelen polarisierten Licht wiedergegeben (*Lithodomus*), die nicht hinreicht, die Perlmutterkristalle mit Sicherheit im Schliff zu erkennen. Und so möchte ich denn schließen, daß auch die spätere Bemerkung von KELLY, daß typische Perlmuttersubstanz aus einer Reihe von Lamellen aus organischer Substanz besteht, an welchen sich jeweils dünne Tafeln parallel zur Basis befinden (p. 477), mehr eine allgemeine Folgerung insbesondere aus der Feststellung des Achsenbildes, als im einzelnen auf Beobachtungen gestützt ist, wie denn überhaupt die Strukturen der Perlmuttermasse kaum Beachtung bei KELLY fanden. Die von BRAUNS (Über das Verhästnis von Conchit und Aragonit, in: Ctrbl. Mineralogie,

1901, p. 134—135) und VATER (Über Ktypeit und Conchit, in: Ztschr. Kristallogr. u. Mineral., Vol. 35, 1902; p. 148—178) an dem KELLY'schen Conchit geübte Kritik haben klar gelegt, daß er mit Aragonit identisch ist; daher soll hier auf die angeblichen Unterschiede von Conchit und Aragonit nicht näher eingegangen werden.

LIST (1902, p. 89) spricht den Kalk in der Perlmutterschicht der Mytiliden als kristallinisch an, ohne aber besondere Beweise dafür zu bringen.

Im Gegensatz zu v. GÜMBEL findet BIEDERMANN (1901, p. 51) entkalkte Schalensubstanz (von *Anodonta*) zwischen gekreuzten Nicols bei jeder Lage dunkel, also nicht doppelbrechend; weiter äußert er betr. der kristallinischen Natur der Perlmutterschicht, daß hier wenigstens in manchen Fällen mehr Berechtigung vorliege, von Kristallen zu sprechen, als bei den Prismen (p. 69) und hebt hervor, daß er an jedem genügend dünnen Flächenschliff der Perlmutter unserer Najaden das Achsenbild zweiachsiger Körper gesehen habe.

RÖMER betrachtet die Perlmutterblättchen nach Analogie mit den Prismen als Sphärokristalle und zwar als ganz dünne Sphäritenscheibchen auch im Hinblick auf ihre konzentrischen Strukturen. Ferner sah er allerdings nur an einem Präparat, das ihm abhanden kam, an vereinzelten Perlmutterblättchen und kleinen Komplexen von solchen, zwischen gekreuzten Nicols dunkle Kreuze, von denen er unentschieden läßt, ob es sich um gewöhnliche Sphäritenkreuze oder um BERTRAND'sche handle (p. 454); ihr Charakter war negativ.

Dieser Auffassung RÖMER's neigt auch RASSBACH (1912, p. 442) für *Anodonta* zu, läßt allerdings an anderer Stelle unentschieden, ob die Ansicht von MOYNIER DE VILLEPOIX richtig sei, der Kalk sei zwischen den Lamellen amorph eingelagert, oder aber, wie ROSE annahm, kristallinisch.

Treffliche polarisationsmikroskopische Beobachtungen, die mir erst während der Niederschrift der vorliegenden Untersuchung bekannt wurden und mit den meinigen gut übereinstimmen, hat KARNY (1913) angestellt. Ein Perlmutterquerschliff von *Pinna* (p. 218 f. a. a. O.) zeigt orthoskopisch Auslöschung parallel und senkrecht zur Oberfläche. Sie ist allerdings nicht absolut, sondern es kann nur von maximaler Verdunkelung und maximaler Aufhellung gesprochen werden, d. h. alle kleinsten Teilchen sind nur annähernd parallel gelagert. Demnach kann die Bestimmung der Brechungsexponenten nur Mittelwerte geben, γ nur zu klein, α zu groß befunden werden. KARNY hat solche Bestimmungen vorgenommen durch Beobachtung der verschiedenen Lichtbrechung der Schliffe, die in Flüssigkeiten von verschiedenem Brechungsindex geprüft wurden, indem einmal eine Auslöschrichtung parallel und dann senkrecht zur Schwingungsrichtung des Polarisators gestellt wurde: α ging nicht unter den betreffenden Exponent des Aragonits herunter, γ war deutlich niedriger, erreichte oft die Werte für Calcit. Konoskopisch erwies sich die Perlmutterschicht stets als zweiachsig: 2E schwankte zwischen 20 und 25°, was KARNY damit

zusammenbringt, daß die kleinsten Partikelchen nicht parallel sind. Die Lage der Achsenebene in bezug auf die Schale ist radiär, d. h. bei *Pinna* längs, d. i. in der Wachstumsrichtung des Mantels: es überwiegt die Anzahl der Teilchen, die ihre zweite Mittellinie (= Makroachse) in der genannten Richtung haben. Die richtende Kraft, welche auf die Teilchen orientierend einwirkt, sieht KARNY in dem Zug, den der wachsende Mantel auf die Schale ausübt.

Als Ätzfiguren erhielt der Autor bei *Pinna* kleine längliche Grübchen parallel zur Makroachse. Da es mir scheint, daß diese Angaben von KARNY sich auf die „helle Schicht" beziehen, so werde ich sie dort berücksichtigen.

Eine eigentümliche Erscheinung kommt dadurch zustande, daß die Enden der Prismen in der Perlmutterlage vertiefte Felder zurücklassen. Flachschliffe durch diese Gegend der Perlmutterschicht zeigen orthoskopisch die Felder dunkel umrandet und in jedem ein schwarzes Kreuz entsprechend den Schwingungsebenen des Nicols. Die Erscheinung beruht darauf, daß jedes Feld wie eine Zerstreuungslinse wirkt und nur die Strahlen ungebrochen ins Auge gelangen, welche die Mitte der Felder oder die sie trennenden Leisten durchsetzen, an diesen Stellen muß daher im Orthoskop Dunkelheit herrschen; alle übrigen werden durch die Zerstreuungslinse in der Weise gebrochen, daß sie nach dem Austritt aus derselben divergieren und überhaupt nicht ins Auge gelangen. Da aber die Beleuchtung selbst ohne Kondensor stets konvergierend ist, werden auch aus den anderen Stellen Strahlen, die den Schliff schräg durchsetzen, parallel austreten; nur dann werden sie orthoskopisch gelöscht, wenn sie den Schliff in der Schwingungsebene eines der beiden Nicols schräg durchsetzen; so entsteht das dunkle Kreuz nach KARNY.

Orthoskopische Untersuchung von *Malleus*- und *Meleagrina*-Perlmutter (a. a. O., p. 278 f.) ergaben KARNY ähnliche Erscheinungen, wie oben für *Pinna* mitgeteilt, das gleiche gilt bezüglich der Brechungsexponenten. Konoskopisch zeigte *Malleus* vielfach einachsige Bilder und Wechsel der Achsenlage, oft bei ziemlich benachbarten Stellen, *Meleagrina* ist immer deutlich zweiachsig mit der Achsenebene radial vom Schloß ausgehend.

Auch Perlmutter von Unioniden (*Anodonta, Unio, Spatha*, p. 247 f.) bietet im Querschliff (unvollkommene) Auslöschung parallel der Lamellierung (nicht aber der Schalenoberfläche, da diese jene unter spitzem Winkel schneidet). Flächenschliffe von *Unio* aus der Prismenschicht benachbarten Lagen erscheinen matt, die dem Mantel angelagerten Schichten aber stark irisierend; die matte Schicht gibt sehr häufig überhaupt kein Achsenbild; wo es beobachtet werden kann, ist es stets einachsig, das der irisierenden Schicht immer deutlich zweiachsig. Bei *Anodonta* wurde nur die zweiachsige Schicht angetroffen mit radial gestellter Achsenebene ($2E = 17-21^0$). KARNY möchte den Unterschied derart deuten, daß bei dickeren Schalen der Zug des Mantels als orientierende Kraft (s. o.) nur für die dem Mantel zunächst liegenden Schichten sich geltend

macht, die weiter von ihm entfernten ihrer Wirkung entzogen sind und daher eine regellosere Anordnung ihrer Teilchen annahmen.

Bei den Unioniden sah KARNY (p. 250f. a. a. O.) ähnlich wie bei *Pinna* auffallende Erscheinungen an der Perlmutter-Prismengrenzfläche: dunkle Felder von der Größe eines Prismenquerschnittes, die gegeneinander durch mehr oder weniger zartes, helles Netzwerk abgegrenzt wird, das nur an den den Nicolhauptschnitten entsprechenden Stellen durch dunkle Punkte unterbrochen ist. Dieser Unterschied gegenüber *Pinna* erklärt sich daraus, daß hier die Felder fast eben und nur durch scharfe, erhabene Leisten voneinander geschieden sind.

Schließlich hat NEUMANN (s. S. 8) den ganzen Komplex der hierher gehörigen Fragen erneut untersucht. Nach seinen Angaben müssen Flächenschliffe aus dem nicht irisierenden Teil (die weniger durchscheinend sind) äußerst dünn sein, wenn sie gute Polarisationsfiguren geben sollen. Sämtliche Flächenschliffe der untersuchten Muscheln sind zweiachsig, wobei stets die Richtung der schwach wellenförmigen Struktur mit der Verbindungslinie der Achsenpunkte zusammenfiel; der Charakter der Doppelbrechung ergab sich durch Prüfung mit dem $\frac{\lambda}{4}$ Glimmerblättchen als negativ. In Schliffen, die schief zur Oberfläche geführt sind, rückt mit zunehmender Schräge das Achsenbild aus dem Gesichtsfelde heraus. Die erste Mittellinie steht also senkrecht zur lamellaren Struktur der Perlmutter. Querschliffe hellen das dunkle Gesichtsfeld auf, entkalkte Schliffe nicht. Der äußere (d. h. in Luft gemessene) Achsenwinkel wurde mit dem Achsenwinkelapparat im Maximum befunden bei *Anodonta* auf 9° 41', bei *Unio* auf 9° 54', bei *Margaritana* auf 10° 7', bei *Meleagrina* auf 13° 18'; ein Winkel von 14—15° wird nie überschritten. RÖMER's Angabe, Perlmutter bestehe aus Sphäritenscheibchen, kann NEUMANN in keiner Weise bestätigen. Abhängigkeit des Achsenwinkels von der Schliffdicke besteht nicht. Die MEIGEN'sche Reaktion fällt bei *Unio*, *Anodonta*, *Margaritana*, *Meleagrina* für Aragonit aus. Als einwandfreies Mittel zur Bestimmung der Kristallisation maß NEUMANN die Brechungsexponenten an Prismen, die aus Perlmutter (*Meleagrina*) geschliffen waren und zwar 1) an Querschliffprismen mit brechender Kante parallel zur ersten Mittellinie, 2) an Flachschliffprismen mit einer Fläche parallel der natürlichen Oberfläche und brechender Kante senkrecht zur optischen Mittellinie, und 3) schließlich an Querschliffprismen mit brechender Kante senkrecht zur ersten Mittellinie und in der Ebene der natürlichen Oberfläche. Die Hauptbrechungsexponenten entsprechend den Schwingungsrichtungen $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$, (die bei Aragonit $\alpha = 1{,}530$, $\beta = 1{,}682$, $\gamma = 1{,}686$ lauten) ergaben sich zu $\alpha = 1{,}5198$ (am 1. Querschliffprisma) bzw. 1,5141 (am letzten Querschliffprisma), zu $\beta = 1{,}6563$ (am Flachschliffprisma) bzw. 1,6475 (am letzten Querschliffprisma), zu $\gamma = 1{,}6617$ (am ersten Querschliffprisma, bzw. 1,6606 (am Flachschliffprisma), daraus (am Querschliffprisma) $\gamma - \alpha = 0{,}1419$ (bei Aragonit 0,156), am Flachschliffprisma $\gamma - \beta = 0{,}0043$ (bei Aragonit 0,004) und (am letzten Querschliff-

prisma) $\beta-\alpha = 0{,}1334$ (bei Aragonit 0,152). Daß diese Werte der Doppelbrechung geringer sind als bei Aragonit, erklärt sich nach NEUMANN aus der Anwesenheit der Conchinschichten.

Perlmutter von *Haliotis* erwies sich gemäß der MEIGEN'schen Reaktion und durch stets einachsiges Achsenbild von Aragonit verschieden, an einem Prisma wurde ε zu 1,5197 in der Mitte, 15240 am Rande der Schale und ω zu 1,6568 (Mitte) und 1,6630 (Rand) bestimmt; betr. weiterer Einzelheiten über *Haliotis* muß ich auf die Originalarbeit verweisen.

Wenn man einen Schliff im Mikroskop um ein kleinstes Stückchen verschiebt, so ergibt sich schon eine merkliche Änderung des Achsenwinkels. Die VALENTIN'sche Erklärung (s. oben) will NEUMANN dafür nicht gelten lassen, weil jede Perlmutterlamelle als kontinuierliche Schicht abgelagert werde, alsdann aber eine verschiedene Orientierung der Kristalle hinsichtlich der Achsenebene äußerst unwahrscheinlich sei. Vielmehr glaubt er, jede einzelne Perlmutterlamelle werde mit einheitlicher Achsenebene, aber von den benachbarten derartig verschieden abgelagert, daß die Achsenebene je zweier aufeinander folgender Lamellen senkrecht zueinander stehe. Durch die gekreuzte Lage der Achsenebenen würde dann infolge der wechselnden Dicke übereinander gelegener Elementarlamellen und auch der lokalen Dickenunterschiede in der gleichen Lamelle eine ähnliche Erscheinung hervorgerufen, wie sie NÖRREMBORG durch Überschichten ungleich dicker Blättchen von Glimmer mit gekreuzten Achsenebenen erhielt. An Stellen, wo dicke und dünne Perlmutterlamellen miteinander abwechseln, entsteht ein zweiachsiges Polarisationsbild mit wechselndem Achsenwinkel je nach der Dicke der Lamellen; wo dagegen die Lamellen gleich dick sind, und das sind nur sehr wenige Stellen, erhält man eine einachsige Interferenzfigur.

b) Eigene Untersuchungen.

1. Die Doppelbrechung des Conchins.

Während BIEDERMANN und NEUMANN (s. o.) angeben, das Conchin sei isotrop, habe ich verschiedentlich deutlich Erscheinungen von Doppelbrechung an dieser Substanz wahrnehmen können. So fand ich auf einem Schalenquerschliff durch die Schloßgegend von *Magaritana* das Schloßband und das Periostracum zwischen gekreuzten Nicols in gewisser Stellung hell, in anderer dunkel, und beim Einlegen eines Gipsplättchens Rot I. O. traten am Schloßband, weniger am Periostracum, lebhafte Interferenzfarben auf. Und zwar erscheint das Periostracum in steigenden Farben, wenn die Richtung $\mathfrak{a}$ im Gipsplättchen senkrecht zur freien Kante des Schalenschliffes gerichtet ist, oder, um in der Bezeichnungsweise von NÄGELI und SCHWENDENER zu sprechen, wenn die große Achse der Elastizitäts-

ellipse des Druckes der Kante des Periostracums parallel geht. Ausgesprochene Doppelbrechung sah ich auch auf einem Querschliff durch die Schale von *Pinna* an einer feinen Conchinlage, die zwischen Prismen und Perlmutterschicht eingeschaltet war.

Man könnte nun gegen die genannten Beobachtungen anführen, daß Schloßband und Periostracum und ebenfalls jene dickeren gelegentlich im Schaleninnern auftretenden Lamellen von organischer Substanz nicht mit den feinen Conchinlagen zwischen den Perlmutterblättchen identisch seien; gewisse Eigentümlichkeiten, z. B. die genannte Feststellung von Rassbach bei *Anodonta*, daß nur die letzteren sich mit Hämatoxylin blau färben, ließen sich im Sinne einer irgendwie gearteten Verschiedenheit der feinen Conchinlamellen in der Perlmutter von der übrigen organischen Substanz der Schale verwerten. Aber auch an entkalkten Perlmutterschliffen (z. B. von *Unio*) habe ich, sowohl während sie noch in der Entkalkungsflüssigkeit lagen, als auch nach ihrem Einschluß in Balsam, unzweifelhaft Spuren von Doppelbrechung wahrgenommen. Auch entkalkte Perlmutterstückchen von *Meleagrina*, deren Fläche im wesentlichen der Schalenebene parallel ging, zeigten bei gewisser Orientierung zwischen gekreuzten Nicols Aufhellung an den Stellen, wo Falten in den Conchinlamellen entstanden waren. Ähnliche Erscheinungen, möchte ich vermuten, hat auch v. Gümbel (s. o.) beobachtet und mit Rücksicht auf die Deutung späterer Autoren, daß in solchen Fällen der Kalk nur unvollkommen entfernt gewesen sei, muß ich betonen, daß sich meine Feststellungen auf völlig entkalkte Perlmuttermasse beziehen. So komme ich denn zum Schluß, daß auch das Conchin Doppelbrechung besitzt oder wenigstens besitzen kann.

Hinsichtlich des Einflusses der Anisotropie des Conchins auf die Erscheinungen der Doppelbrechung, die durch den kristallinischen Kalk verursacht werden, ist erstens zu berücksichtigen, daß die Stärke der Doppelbrechung beim Conchin sehr viel geringer ist als beim Aragonit. Selbst das Schloßband, das unter den organischen Bestandteilen der Schale bei weitem die höchste Doppelbrechung zeigte, was mit Rücksicht auf seine mechanische Beanspruchung sehr wohl verständlich ist, gab Interferenzfarben der ersten und zweiten Ordnung, während die Perlmuttermasse bei gleicher Schichtdicke bereits Weiß höherer Ordnung aufwies. Entsprechendes läßt sich an teilweise entkalkten Perlmutterschliffen wahrnehmen; an ihrem verdünnten Rand zeigt die kalkige Masse des Schliffes in schönster Weise Farben der unteren

Ordnungen, während die auf die Dicke des Schliffes entfallende Conchinmasse so gut wie keine Doppelbrechung erkennen läßt. Zweitens aber wissen wir aus der Untersuchung des Querschliffes, daß die Dicke der Conchinlamellen im Vergleich zu den Elementarlamellen der Perlmutterblättchen äußerst gering ist. Bei der schwachen Doppelbrechung des Conchins und der geringen Stärke der Lamellen, in denen es normalerweise in der Perlmutter auftritt, macht sich seine Anisotropie für gewöhnlich überhaupt nicht bemerkbar und damit können wir sie für die folgenden Auseinandersetzungen vernachlässigen.

2. Das Verhalten isolierter Perlmutterblättchen.

Bereits früher (s. S. 36) hatten wir die kalkigen Bauelemente der Perlmuttermasse, die Perlmutterblättchen, als Einzelkristalle von Aragonit angesprochen auf Grund der Formen, die sie vor ihrem Verschmelzen zu einer Elementarlamelle auf der wachsenden Perlmutterfläche zeigen können. Diese Deutung und die der Kristallformen im einzelnen findet durch die Untersuchung im polarisierten Licht ihre volle Bestätigung.

Nur einzelne der isolierten Perlmutterblättchen sind (in Flächenansicht) so dünn, daß sie undeutliche Einwirkungen auf das polarisierte Licht geben; die meisten aber gestatten bei hinreichender Vergrößerung leicht folgende Feststellungen mit aller Sicherheit zu machen.

Ein isoliertes Perlmutterblättchen, mag es die Kanten- oder Flächenansicht dem Beschauer darbieten, wird zwischen gekreuzten Nicols und bei einer Drehung des Objekttisches um 360° viermal vollkommen und gleichmäßig dunkel und zeigt in 4 dazu diagonalen Stellungen maximale Helligkeit. Daraus muß geschlossen werden, daß jedes Blättchen einem Kristallindividuum entspricht. Sphäritenkreuze, wie sie Römer beschreibt (s. o.), habe ich an einzelnen Perlmutterblättchen nie gesehen und ich möchte vermuten, daß dieser Autor sich entweder durch mehrere zusammenhängende Blättchen mit verschiedener optischer Orientierung (s. u.) hat täuschen lassen, oder durch die Verwechselung von Perlmutterblättchen mit den bisweilen sehr kleinen polygonalen Elementen von auskeilenden Lagen der Prismenschicht, was vielleicht noch wahrscheinlicher ist; diesen kommen nämlich bei den Unioniden Sphäritenkreuze zu.

Eine genauere Prüfung der Auslöschrichtungen ergab, daß bei Kantenansicht der Blättchen dann Dunkelheit

herrscht, wenn die (der Fläche der Blättchen entsprechende) Kante einer Polarisationsebene parallel, zur anderen also senkrecht steht. Demnach erfolgen die Schwingungen der beiden polarisierten Komponenten des Lichtes parallel und senkrecht zur Ebene der des Täfelchens. Schaltet man ein Gipsplättchen Rot I. O. ein, und orientiert die Kante des Blättchens in Diagonalstellung zu den Polarisationsebenen, dann erscheint es in Additionsfarben, wenn die Schwingungsrichtung der schneller sich fortpflanzenden Welle im Gipse zur Kante senkrecht steht, in Subtraktionsfarben, wenn sie ihr parallel geht. Ist die Ebene der Täfelchen die Basis des rhombischen Systems, wie wir der Form gemäß annahmen (und durch das Achsenbild weiterhin erwiesen wird), dann entspricht das beschriebene Verhalten dem des Aragonits: in ihm schwingt die Lichtkomponente mit relativ (und absolut) größter Fortpflanzungsgeschwindigkeit 𝔞 senkrecht zur Ebene des Täfelchens, die mit kleinerer Geschwindigkeit (Werte zwischen 𝔟 und 𝔠) in dieser Ebene.

Für isolierte Perlmutterblättchen in Flächenansicht läßt sich die Lage der Schwingungsrichtungen nur dann in bezug auf ihre Form allgemein angeben, wenn sich an der seitlichen Begrenzung der Täfelchen außer Kontakt- (oder nur) Kristallflächen beteiligen. Bei einigem Suchen findet man solche, bei denen wenigstens zwei benachbarte Kristallflächen an der Blättchenkante ausgebildet sind, etwa die Prismenflächen, die den charakteristischen Winkel von 116° einschließen. Hier entsprechen die Auslöschrichtungen den Diagonalen des Rhombus. Und ferner treten bei eingeschalteten Gypsplättchen Additionsfarben auf, wenn die Schwingungsrichtung der schneller sich fortpflanzenden Welle mit der den Winkel von 116° halbierenden Diagonale zusammenfällt. Schwingungsrichtung und relative Größe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden polarisierten Komponenten stimmt also durchaus mit unserer Deutung der Kristalle überein: die Schwingungsrichtungen in der Flächenansicht sind durch die Brachy- und Makroachse gekennzeichnet, und zwar ist die erste die Schwingungsrichtung der Welle mit größerer Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

3. Das Verhalten von Flachschliffen und Spaltblättchen.

An einzelnen isolierten Perlmutterblättchen gelang es mir nicht, ein Achsenbild zu beobachten, das sie, in Flächenansicht konoskopisch betrachtet, gemäß unserer Deutung der Kristalle zeigen müßten, was aber bei der geringen Ausdehnung und minimalen Dicke der einzelnen Blättchen keineswegs verwunderlich ist. Das Achsenbild läßt sich aber stets an Spaltblättchen und Flachschliffen feststellen und bestimmt eindeutig die Richtung der kristallographischen Achse c (bezw. der I. Mittellinie) als senkrecht zum Täfelchen und damit dessen Fläche als Basis und gestattet zugleich, den negativen Charakter der Doppelbrechung leicht zu erkennen. Zunächst aber wollen wir das Augenmerk auf die orthoskopischen Befunde am Flachschliff und Spaltblättchen lenken, die bisher, abgesehen von Karny, auffallend vernachlässigt wurden. Sie ergänzen an Schliffen mit natürlicher Oberfläche und gut ausgebildeten Kristallen die eben für die isolierten Perlmutterblättchen gemachten Angaben.

Dickere Flachschliffe bleiben zwischen gekreuzten Nicols unter jeder Stellung zu den Polarisationsebenen hell, doch wird man auch dann meistens beim Drehen des Objekttisches einen Wechsel der Helligkeit wahrnehmen können. Sehr auffällig wird er an dünneren Schliffen und Spaltblättchen, indem sich bei einer Drehung des Objekttisches um 360° vier gegen 90° voneinander verschiedene Stellungen ausfindig machen lassen, in denen das Präparat gleichmäßig in ganzer Ausdehnung ein Minimum der Helligkeit zeigt, das sich in einzelnen Fällen sehr stark vollkommener Auslöschung nähern kann.

Rufen wir uns ins Gedächtnis zurück, daß ein Schliff oder Spaltblättchen aus einer Anzahl von Elementarlamellen und jede derselben wiederum aus einer Unmenge von Perlmutterblättchen besteht, also ein Aggregat von Einzelkristallen darstellt, so berechtigt uns die beschriebene Einheitlichkeit der Auslöschung von Spaltblättchen und Flachschliffen, diesem Aggregat eine bestimmte Ordnung der Elementarteile zuzuschreiben; denn ohne eine solche wäre ein derartiges Verhalten undenkbar. Der optische Befund kommt uns keineswegs unerwartet. Haben wir doch bereits festgestellt, daß die Kristalle auf der wachsenden Perlmutterfläche mehr oder minder genau parallel gestellt sind. Diese Parallelstellung gilt nicht nur für eine be-

stimmte Elementarlamelle in geringer Ausdehnung, sondern für größere Schalenstrecken und für verschiedene übereinander gelegene Elementarlamellen. Daraus muß geschlossen werden, daß die Kristalle nicht nur innerhalb der gleichen Elementarlamelle optisch parallel angeordnet sind, sondern daß auch ihre Anordnung in benachbarten Elementarlamellen übereinstimmt. Die tatsächlich zu beobachtende mehr oder minder weitgehende optische Homogenität der Flachschliffe beruht also auf „Parallelverwachsung" der Perlmutterblättchen im Sinne der Kristallographie.

Prüft man Spaltblättchen von der Dicke einer einzelnen Elementarlamelle, die allerdings nur in geringer Flächenausdehnung zu erhalten sind, so zeigen sie oft z. B. bei *Meleagrina* und *Pinna*, vollkommene Auslöschung, es herrscht also strenge Parallelordnung. Gelegentlich treten aber auch in einer derartigen Lamelle einzelne Blättchen oder kleine Gruppen von solchen auf, die sich nicht der allgemeinen optischen Orientierung fügen. Vorkommnisse dieser Art sind uns gemäß dem Studium der Kristallanordnung auf der wachsenden Perlmutterfläche bereits geläufig und beruhen auf völlig regelloser Lagerung einzelner Kristalle oder auf zwar gesetzmäßiger aber nicht paralleler Verwachsung z. B. Zwillingsbildung zwischen benachbarten. Bei einzelnen Formen z. B. bei *Unio*, *Mytilus* und *Anodonta* kommen derartige Störungen ziemlich häufig vor und verleihen dann den Elementarlamellen einen überaus zierlichen gescheckten Anblick im polarisierten Licht, indem die einzelnen Blättchen in verschiedener Helligkeit oder bei eingeschalteter Gipsplatte in abweichenden Farben erscheinen. Doch spielt hierbei auch die Stelle der Schale eine Rolle, wie wir gleich sehen werden.

Je dicker die Spaltblättchen sind, um so mehr werden sich die Störungen in den einzelnen Lamellen summieren und die Vollkommenheit der Auslöschung mindern. Dazu kommt noch, daß außer den oben erwähnten lokalen Störungen in der Anordnung der Kristalle die Lage der Schwingungsrichtungen auch beim Vergleich benachbarter Gebiete im ganzen kleine Schwankungen zeigt, die in benachbarten Lamellen nicht gleichsinnig zu sein brauchen. So bildet sich allmählich das Verhalten dickerer Spaltblättchen und der Flachschliffe aus. Ihre Auslöschung ist unvollkommen, sei es, daß das Minimum der Helligkeit nur undeutlich ausgeprägt ist, sei es, daß einzelne Stellen völlig dunkel sind, andere dagegen noch eine geringe Helligkeit aufweisen und daß bei einer kleinen Drehung

des Objekttisches die dunkeln und die noch eben erhellten Stellen ihren Platz vertauschen (das letztere bei *Pinna* die Regel). Bei *Margaritana* erscheinen Schliffe aus der Schalenmitte in Auslöschstellung scheckig, aus dem Randgebiet entschieden optisch homogener; bei *Pinna*, deren Flachschliffe im allgemeinen weitgehendste optische Homogenität zeigt, waren solche aus dem Gebiet der auslaufenden Perlmutter weniger gleichmäßig.

Perlmutterschliffe mit erhaltener natürlicher Oberfläche, auf der sich wohlausgebildete Kristalle befinden, gestatten die Auslöschrichtung hinsichtlich der Kristallformen festzulegen und führen zu demselben Ergebnis wie bei den isolierten Perlmutterblättchen. Bei rhombischen Kristallen kennzeichnen die Diagonalen die Auslöschrichtungen, bei rechteckigen geht die Auslöschung den Seiten des Rechtecks parallel; Prüfung mit dem Gipsblättchen lehrt, daß die Makrodiagonale des Rhombus die Schwingungsrichtung der langsameren Welle, die Brachydiagonale die Schwingungsrichtung der schnelleren Welle ist.

Bei rechteckigen Kristallen von *Pinna* erscheinen im allgemeinen Subtraktionsfarben, wenn die längere Seite des Rechtecks der Richtung $\mathfrak{a}$ in der Gipsplatte parallel geht; die längere Seite muß daher der Makrodiagonale parallel verlaufen und demgemäß als Querfläche angesprochen werden. Bemerkenswerterweise machen nun die von der dorsalen Schalenhälfte von *Pinna* außerhalb des Schließmuskels gelegenen rechteckigen Kristalle eine Ausnahme, indem bei ihnen die längere Seite sich als Längsfläche erweist (s. S. 14 u. 15); wir werden auf die eigenartige Tatsache nochmals zurückkommen (s. S. 100 u. 115).

Da nach unserer Auffassung Perlmutter ein Aggregat parallel gelagerter Aragonitkristalle ist, so muß die Anordnung der Kristalle im Innern eines gegebenen Perlmutterstückchens (von nicht allzu großer Dicke) wesentlich die gleiche sein wie auf der natürlichen Oberfläche; sie ist uns nur oft dadurch verborgen, daß die Formen der Kristalle durch die Ausbildung von Kontaktflächen verschleiert werden. Tatsächlich ist es im allgemeinen möglich, das Verhalten von Flachschliffen im polarisierten Licht, obwohl es auf der Gesamtwirkung aller in ihnen enthaltenen Elementarlamellen beruht nach der Erscheinung der Kristalle auf der Oberfläche vorauszusagen. Nun lernten wir in der Reihenstreifung eine Struktur im Perlmutter-

inneren kennen, welche die Ordnung der Kristalle auf der wachsenden Oberfläche widerspiegelt — falls die Perlmutterblättchen während ihrer Bildung eine Reihenanordnung zeigten.

Eine solche Reihenstellung der Perlmutterblättchen kommt in ausgesprochenster Form der wachsenden Perlmutteroberfläche von *Pinna* und als Reihenstreifung dem Innern dieser Perlmutter zu. Hier sind die rechteckigen Kristalle der Oberfläche in Richtung der Makrodiagonale aneinandergereiht und demgemäß erweist sich auch an Schliffen von *Pinna*, (die nichts von der natürlichen Oberfläche zu enthalten brauchen), bei optischer Prüfung die Richtung der Reihenstreifung als Makrodiagonalenrichtung; denn ein Flachschliff zeigt Subtraktionsfarben, wenn die Schwingungsrichtung der schnelleren Welle im Gips a mit der Reihenstreifung übereinfällt. Vorhin wurde erwähnt, daß in einem beschränkten Gebiet bei *Pinna* rechteckige Kristalle vorkommen, deren längere Seite der Brachydiagonale parallel geht; diese Kristalle liegen ebenfalls in Reihen, die mit der längeren Seite der Plättchen parallel gehen. Da aber die längere Seite der Plättchen hier der Brachydiagonale entspricht (also die Längsfläche darstellt), muß die Reihenstreifung hier optisch ein entgegengesetztes Verhalten zeigen; ein Schliff aus derartiger Perlmutter weist Additionsfarben auf, wenn Reihenstreifung und die Schwingungsrichtung der schneller sich fortpflanzenden Welle a im Gips zusammenfallen.

Abgesehen von dieser Ausnahme galt bei allen von mir untersuchten Präparaten, die Reihenstreifung erkennen ließen (z. B. *Meleagrina*, *Margaritana*), die Regel, daß diese Streifung mit der Makrodiagonalenrichtung parallel geht.

Reihenstreifung und die zu ihr senkrechte Richtung kennzeichnen natürlich auch stets die Auslöschrichtungen im Flachschliff oder Spaltblättchen.

Die von Karny (s. o.) auf der Außenfläche der Perlmutterlage beobachteten Erscheinungen, welche dadurch verursacht sind, daß die Enden der Prismen vertiefte Eindrücke in der Oberfläche der Perlmutter hinterlassen, kann ich im wesentlichen bestätigen auf Grund einer Nachprüfung bei *Anodonta* und *Pinna*. An ausgetrockneten Schalen löst sich bei der letzten Form die Perlmutterlage oft von selbst ab, besonders dort, wo sie dünn ausläuft, so daß man sehr leicht geeignete dünne Blättchen mit der natürlichen Skulptur auf der Außenseite der Perlmutter erhält. Bei

Anodonta ging ich so vor, daß ich die Prismenlage durch Mazeration der Schale in Kalilauge lockerte, worauf sie sich dann sauber von der unterliegenden Perlmutter stückweise abtragen läßt. Die letzte wurde darauf von der Innenseite der Schale her durch Abschleifen genügend verdünnt.

Schon im gewöhnlichen Licht sieht man bei *Anodonta* das den Grenzen der Prismen entsprechende Maschenwerk hell bei hoher Einstellung. Bei derselben Einstellung tritt es im polarisiertem Licht aufs schärfste hervor, indem die Felder jetzt dunkel sind; dabei wird, wie KARNY angibt, die helle Umrahmung an den den Polarisationsebenen der Nicols entsprechenden Stellen von dunklen Punkten unterbrochen. Senkt man nun den Tubus, so wandert die helle Umrahmung in jedes Feld hinein und die Grenzen benachbarter Felder erscheinen als dünne dunkle Umrisse.

Bei *Pinna* habe ich die von KARNY beschriebenen Erscheinungen an Stellen, die im gewöhnlichen Lichte die Felderung sehr schön zeigten, nur undeutlich wahrnehmen können.



Fig. P.
Achsenbild eines Perlmutterspaltblättchens von *Meleagrina*.
Photogramm von E. Leitz, Wetzlar, mit einem Objektiv von der num. Apertur 0. 82.

Flachschliffe oder Spaltblättchen von Perlmutter zeigen im konvergenten polarisierten Licht das Achsenbild eines zweiachsigen Kristalls, wie es für Aragonit zu erwarten ist. Bei diagonaler Orientierung der Schwingungsrichtungen im Schliff zu den Polarisationsebenen der Nicols erscheinen die bekannten dunklen Hyperbeln, deren Scheitel die Austrittspunkte der optischen Achsen sind, umgeben von dem System lemniskaten-ähnlicher Kurven gleichen Gangunterschiedes (Textfig. P, *Meleagrina*). Der Abstand der Kurven ist bekanntlich von der Dicke der Schicht abhängig; bei dickeren Schliffen liegen sie nahe beieinander, bei dünneren halten sie größeren Abstand ein, und bei sehr dünnen kann nicht einmal die innerste Kurve mehr ins Gesichtsfeld eintreten. Dieses

Verhalten läßt sich bequem vorführen beim langsamen Verschieben eines Schliffes, der nach einer Richtung hin sich keilförmig zuschärft. Aber auch gleichdicke Schliffe lassen beim Verschieben des Präparates fast stets eine andere Änderung der Interferenzfigur erkennen, indem nämlich der Abstand der Achsenaustrittspunkte, der den (scheinbaren) Achsenwinkel bestimmt, bald größer, bald geringer wird. Der Achsenwinkel schwankt also innerhalb gewisser (von Neumann, s. o., genauer untersuchter) Grenzen. In einigen Präparaten ist der Achsenwinkel stellenweise so klein, daß das Bild an einachsige Kristalle erinnert. Aber bei allen von mir untersuchten Formen — ich nenne *Nucula, Trigonia, Anatina, Pandora, Lyonsia, Unio, Margaritana, Anodonta, Barbula, Meleagrina, Pinna, Mytilus* — waren deutlich zweiachsige Bilder die Regel.

Wie beim Aragonit ist der Charakter der Doppelbrechung negativ: orientiert man die Verbindungslinie der Achsenaustrittspunkte, welche die Spur der Achsenebene im Gesichtsfeld markiert, parallel zur Schwingungsrichtung der schnelleren Welle im Gips, so erscheint die Mitte des Achsenbildes in sinkenden Farben.

Die Tatsache, daß Flachschliffe und Spaltblättchen der Perlmuttermasse ein Achsenbild ergeben (Querschliffe zeigen es nicht) beweist die bisher aus der Kristallform entnommene Deutung, daß die Ebene der Perlmutterblättchen der rhombischen Basis entspricht. Und der aus dem Achsenbild gefolgerte Charakter der Doppelbrechung stimmt durchaus zu dem bereits früher mitgeteilten Verhalten der Schwingungsrichtungen senkrecht und parallel zur Basisfläche (s. S. 96). Die kristallographische Achse c (die mit der ersten Mittellinie zusammenfällt) steht somit senkrecht zur Ebene der Perlmutterblättchen, ganz wie es die von uns gegebene Deutung der Kristallgestalten auf der wachsenden Perlmutterfläche verlangt.

Beim Aragonit fällt die Spur der Achsenebene in die Richtung der Makrodiagonale. Das bestätigt sich für Flachschliffe nicht nur im Hinblick auf die Kristallformen (Achsenebene parallel der großen Diagonale der rhombischen Kristalle, bzw. parallel der langen Kante der rechteckigen) sondern auch für die Reihenstreifung. Wie orthoskopische Prüfungen uns lehrten, daß die Reihenstreifung im allgemeinen der Makroachse entspricht, so gehen auch bei konoskopischer Betrachtung Achsenebene und Reihenstreifung parallel. Eine Ausnahme davon bildet nur die an bestimmter Stelle der Schale von *Pinna* vorkommende Reihenstreifung,

die auf der Zusammensetzung der Perlmutter aus Kristallen mit stärker entwickelter Längsfläche beruht (s. S. 99); hier erscheinen Achsenebene und Reihenstreifung zueinander gekreuzt.

Nicht selten beobachtet man eine etwas exzentrische Stellung des Achsenbildes (vgl. Textfig. P) im Gesichtsfeld, ein Hinweis darauf, daß die Ebene der Perlmutterblättchen nicht vollkommen horizontal liegt. Gehen die Schliffe merklich schräg zur Lamellierung der Perlmutter — und das kann eintreten, wenn sie der Schalenfläche parallel verlaufen — dann kommt die genannte Abweichung des Achsenbildes deutlich zur Erscheinung. An einem absichtlich schräg, etwa unter 45° zur Schalenfläche, angelegten Schliff von *Meleagrina* war nun noch ein Hyperbelast sichtbar, der mit seinem Scheitel den Rand des Gesichtsfeldes berührte.

Schließlich noch ein paar Worte über die Ursachen der Schwankungen des Achsenwinkels. Der von Neumann gegebenen Erklärung (s. o.), die voraussetzt, daß die Achsenebene in je zwei aufeinander folgenden Lamellen senkrecht gekreuzt sei, kann ich nicht beistimmen, weil die Beobachtung der Kristallanordnung in übereinander gelegenen Elementarlamellen, wie sie uns auf der wachsenden Perlmutterfläche zugänglich ist, dem geradezu widerspricht: die optische Orientierung der Perlmutterblättchen ist nicht nur in ein und derselben Lamelle parallel, sondern stimmt auch in benachbarten überein (vgl. auch S. 40 u. 42). Ferner ist die Tatsache, daß die Reihenstreifung normalerweise durch die Dicke der Perlmuttersubstanz im gleichen Sinne unverändert fortschreitet, mit einem Wechsel der Achsenebene benachbarte Lamellen nicht gut zu vereinen. Unter solchen Umständen bleibt nur übrig, das Schwanken des Achsenwinkels auf die Störungen der optischen Parallelordnung der Perlmutterblättchen innerhalb der einzelnen Lamellen (desorientierte Kristalle, Zwillingsbildung usw.) und kleine Abweichungen der Parallelanordnung der Achsenebene benachbarter Lamellen zurückzuführen, für deren Vorhandensein deutliche Anzeichen gegeben sind (s. S. 98). Selten sind sie so ausgesprochen, daß sie durch eine in verschiedenen Niveaus des Schliffes unregelmäßig wechselnde Reihenstreifung, zum Ausdruck kommen (vgl. Abb. 39, Taf. III); eine solche geht mit kleinem Achsenwinkel Hand in Hand. In bezug auf die Ursachen der Schwankungen des Achsenwinkels stimme ich also durchaus Karny bei.

4. Das Verhalten von Querschliffen.

Dem Verhalten von Perlmutter querschliffen im polarisierten Licht ist bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden, vermutlich weil die meisten Autoren zu dicke Schliffe benutzten. Solche bleiben bei gekreuzten Nicols in allen Stellungen zu den Polarisationsebenen hell. Dünnere Schliffe dagegen vor allem von *Meleagrina* und *Pinna* lassen deutlich Auslöschrichtungen erkennen, in denen zwar keine völlige Dunkelheit wohl aber ein ausgesprochenes Minimum an Helligkeit besteht, und zwar erfolgt die Auslöschung parallel und senkrecht zur Lamellierung der Perlmuttermasse. Die Erscheinungen sind noch auffallender als die entsprechenden an Flachschliffen, was ja verständlich ist, weil hier die Schwingungsrichtungen mit der Struktur Hand in Hand gehen, was bei Flachschliffen nur dann zutrifft, wenn Reihenstreifung bemerkbar ist. Zeigen die Elementarlamellen nicht die gewöhnliche ebene Gestaltung sondern sind gebogen, wie häufig an Querschliffen aus der Schloßgegend oder bei *Nucula* und *Trigonia* der Außenseite der Schale, oder wie die konzentrischen Perlmutterlagen in Perlen, oder stoßen Gebiete mit verschiedenen Lamellierungsebenen im gleichen Querschliff aneinander (äußere und innere durch die helle Schicht getrennte Perlmutterlage), dann macht sich das durch entsprechende Ungleichmäßigkeiten der Auslöschung bemerkbar.

Auch beim Einlegen eines Gipsplättchens kommt der optisch homogene Charakter des geordneten Aggregats von Aragonitkristallen überzeugend zur Geltung und es ergibt sich (wie bei der Prüfung eines einzelnen Perlmutterblättchens in Kantenansicht, s. S. 96), daß die Schwingungsrichtung der schnelleren Welle im Querschliff senkrecht zur Lamellierung steht, wie es der c-Achse beim Aragonit zukommt.

An dünnen Querschliffen, solchen, die auch ohne Gipsplättchen zwischen gekreuzten Nicols Interferenzfarben geben, treten bei relativ schwachen Vergrößerungen die einzelnen Perlmutterblättchen aufs schönste hervor, so daß das polarisierte Licht sehr geeignet ist, das Bild des „Backsteinbaus" zur Darstellung zu bringen. Ebenso läßt sich am Rande von teilweise entkalkten Schliffen die fortschreitende Auflösung der einzelnen Perlmutterblättchen (s. S. 79) sehr gut im polarisierten Licht verfolgen. Die Kristalle in benachbarten Elementarlamellen geben genau die gleichen Interferenzfarben (mit und ohne Gips), was an sehr dünn auslaufenden Rändern teilweise entkalkter und nicht entkalkter Schliffe mit aller Sicherheit festzustellen

ist; auch diese Beobachtung widerspricht der Annahme von Neumann, die Achsenebenen seien von Lamelle zu Lamelle gekreuzt.

An einigen Querschliffen war die Auslöschung in verschiedenen Niveaus von ungleicher Vollkommenheit, so daß horizontale Schichten von verschiedener Helligkeit bei durchgehender Parallelorientierung sämtlicher Lamellen des Schliffes zu beobachten waren. Vielfach sieht man auf den Schliffen einzelne Kristalle besonders deutlich hervortreten; es handelt sich um Perlmutterblättchen, die durch das Schleifverfahren gelockert aus ihrer normalen Lage herangerückt sind; an geätzten Schliffen, bei denen derartige Störungen der Oberfläche beseitigt sind, treten diese Erscheinungen weniger hervor. —

Die Beobachtungen an isolierten Perlmutterblättchen, Quer- und Flachschliffen im polarisierten Licht bestätigten und erweiterten unsere früheren Feststellungen. Sie sicherten die Natur der kristallinischen Elementarbestandteile als Individuen von Aragonit und die Deutung der Kristallformen im einzelnen. Sie befestigen durchaus die Auffassung der Perlmutter als eines Aggregates von Kristallen, die in den einzelnen Elementarlamellen und auch in den benachbarten im wesentlichen parallel geordnet sind. Denn auf dieser gesetzmäßigen Lagerung der zahllosen Einzelkristalle, der Perlmutterblättchen, beruht die mehr oder minder weitgehende optische Homogenität der Perlmuttermasse, die sich in mehr oder minder gleichmäßiger Auslöschung und Achsenbild als Gesamtwirkungen der geordneten Bauelemente kundgibt. Querschliffe (und einzelne Perlmutterblättchen in Kantenansicht) löschen parallel der Lamellierung (bzw. der Fläche) aus und erweisen sich stets als optisch negativ in bezug auf die Normale der Lamellen; Flachschliffe löschen parallel der Reihenstreifung aus und verhalten sich im allgemeinen als positiv (selten als negativ) in bezug auf diese Richtung. Da die Normale der Lamellierung gemäß dem an Flachschliffen und Spaltblättchen sichtbaren Achsenbild sich als I. Mittellinie ergibt, so steht die c-Achse senkrecht auf den Elementarlamellen und die Reihenstreifung geht im allgemeinen der Achsenebene, also der Makroachse parallel (selten kreuzen sich Achsenebene und Reihenstreifung, so daß alsdann die Reihenstreifung der Brachyachse entspricht). Da Anordnung und Form der Perlmutterblättchen auch die Strukturen der Perlmutter bedingt, so erklärt sich der innige Zusammenhang zwischen den morphologischen Strukturen und optischen Eigenschaften. Feinere und gröbere

Störungen des gesetzmäßigen Aufbaus äußern sich in der Unvollkommenheit und Unregelmäßigkeit der Auslöschung und im schwankenden Wert des Achsenwinkels.

V. Allgemeines über Bau und Bildung der Perlmuttermasse.

In den Zusammenfassungen unserer Beobachtungen am Ende der einzelnen Abschnitte (s. S. 30, 35, 42, 54, 68, 69—70, 73, 86, 105) haben wir uns absichtlich darauf beschränkt, wesentlich die Tatsachen zu formulieren und gelegentlich auf die Abweichung unserer Befunde von weitverbreiteten Anschauungen hinzuweisen. Hier soll der Versuch gemacht werden, alte und neue Feststellungen zu einem einheitlichen Bild von Bau und Entstehung der Perlmutter zu verweben.

Von grundlegender Bedeutung für die Auffassung der Perlmutterstrukturen und -entstehung ist der von uns im einzelnen erbrachte Nachweis, daß die Bauelemente der Perlmutter Aragonitkristalle sind. Aber nicht nur die Form der Einzelteile, auch die Art ihrer Zusammenfügung wird durch einen Kristallisationsvorgang bestimmt. Biedermann (1914, p. 683) hatte vollkommen recht, wenn er vermutete, daß das Formbestimmende nicht die organische Substanz sondern der Kalk sei. Da nämlich auf der Form der Perlmutterblättchen und der Art ihrer Zusammenlagerung alle in der Perlmutter nachgewiesenen Strukturen beruhen, so sind diese letzten Endes auf den Kristallisationsvorgang des Kalkes zurückzuführen. Das Conchin spielt nur die Rolle eines Kittes, der die einzelnen kristallinischen Elementarteile zusammenhält. Eigene mikroskopisch wahrnehmbare Struktur besitzt das Conchin nicht; zwar stellt es in seiner Gesamtheit ein einheitliches Fachwerk dar, das aus horizontalen Lagen, entsprechend der Grenze der Elementarlamellen, und vertikalen, gemäß den Seitenkanten der Blättchen in derselben Lamelle, besteht. Aber aus der Art des Heranwachsens der Perlmutterblättchen geht hervor, daß dieses Fachwerk nur ein Negativ der Struktur der kalkigen Bestandteile ist, daß somit dem Conchingerüst seine Form passiv durch den Kristallisationsprozeß aufgeprägt wird. Die Rolle des Conchins wird man sich ungefähr so vorstellen dürfen, wie die einer nicht kristallisationsfähigen Beimischung zu einer Mutterlauge: in dem Maße, wie die Kristalle heranwachsen, wird sie auf die Räume beschränkt, die zwischen ihnen übrig bleiben. Hier verfestigt sich schließlich

das Conchin. Auch an die Einlagerung von organischer Substanz zwischen die Elementarteile von Calcosphäriten sei hier erinnert.

Nach unseren Beobachtungen haben wir somit keine Veranlassung mehr, uns die Bildung der Perlmutter als abwechselnde Ausscheidung einer kalkigen und einer organischen Lamelle vorzustellen, ganz abgesehen davon, daß auch in den kalkigen Lamellen zwischen den einzelnen Perlmutterblättchen sich Conchin befindet. Überhaupt boten die Feststellungen über das Verhalten der wachsenden Perlmutterfläche keinen Hinweis, daß der Mantel bei der Perlmutterbildung mehr oder minder feste, geformte Conchinlamellen liefert.

Die Bildung einer jeden Elementarlamelle beginnt mit der Ausscheidung winziger Aragonitkristalle aus dem zähflüssigen, vom Mantel gelieferten Sekret, das den Kalk irgendwie gelöst enthält. Bei ihrem ersten Sichtbarwerden setzen sie sich auf einer Unterlage an, sei es, daß diese von der Innenfläche der Prismenlage oder von bereits vorhandener Perlmutter dargeboten wird. Man wird wohl nicht fehlgehen, wenn man die nun erfolgende tafelförmige Ausbildung der Kristalle zum Teil damit in Zusammenhang bringt, daß die „Mutterlauge" stets eine sehr dünne Schicht darstellt; die wachsende Fläche ist ständig nur angefeuchtet, so daß einzig Möglichkeit für ein Wachstum der Kristalle in der Ebene geboten ist. Andererseits aber verschiebt sich der Mantel bei den Bewegungen des Tieres parallel zur Schalenfläche oft in geringem Umfang, was ebenfalls einem Auswachsen der Kristalle senkrecht zur Fläche ungünstig sein dürfte. Die an den Kristallen zu beobachtenden Unvollkommenheiten, insbesondere die häufige Abrundung der Scheibchen, hängt sicherlich mit den „Verunreinigungen" der Kalklösung — insbesondere ihrem Gehalt an kolloidalem Conchin zusammen; kolloidale Stoffe wirken bekanntermaßen störend auf die Ausbildung der Kristallflächen ein.

Legen wir uns nun die Frage vor, welcher Faktor die Dicke der Elementarlamellen bestimmt, die ja innerhalb gewisser Grenzen schwankt, aber doch unverkennbar einen Durchschnittswert einhält, der die gleichmäßige Lamellierung der Perlmuttermasse zur Folge hat. Als einfachste Erklärung der Lamellierung erscheint zunächst, daß die Absonderung des Mantelsekrets periodisch, in gleichen Zeitabständen und einigermaßen gleichen Mengen erfolgt. Der in einem solchen Sekretquantum jeweils enthaltene Kalk kommt zur Ausfällung und liefert eine Elementarlamelle; dann ruht das Wachstum der Perlmutter, bis wieder-

um ein neuer Schub von Sekret erfolgt. Bei gleichbleibendem Kalkgehalt des Sekretes würden so gleich dicke Elementarlamellen zustande kommen. Derartige Vorstellungen finden sich in der Literatur öfter ausgesprochen, am klarsten wohl bei Jameson (1912, p. 348). Dieser Autor bezeichnet die Bildung der Schalenmasse (mit Ausnahme der hellen Schicht und des Periostracums) als einen Kristallisationsprozeß von Calciumkarbonat in einem kolloidalen Medium, der durch die periodische Tätigkeit der Schalensekret liefernden Gewebe des Mantels modifiziert sind. Die Lamellierung wäre nach solcher Auffassung auf einen vitalen außerhalb des Kristallisationsprozesses gelegenen Faktor zurückgeführt.[1])

Eine derartige Vorstellung mochte angehen, solange man glauben konnte, daß eine Elementarlamelle nach der anderen als geschlossene Schicht angelegt werde. Wir wissen aber jetzt, daß das Dickenwachstum der Perlmutter dem Aufführen einen Mauerwerks aus Ziegeln ähnelt, das zwar im wesentlichen gleichmäßig vorwärts schreitet, bei dem aber die einzelnen Stellen kleine Niveauunterschiede zeigen, indem hier der Bau bereits um einige Lagen von Ziegeln mehr in die Höhe gewachsen ist als dort; trotz dieser Unterschiede erscheinen im fertigen Gebäude die Ziegel in gleichmäßigen horizontalen Reihen geordnet, weil ihre Dicke überall dieselbe ist, nicht aber weil jede Ziegellage als ganzes in einer gewissen Bauperiode angelegt worden wäre. So ist auch bei der Perlmutter nicht ein Zeitfaktor — Periodizität der Sekretlieferung — die Ursache der Lamellierung, sondern die Verwendung von Bauelementen bestimmter Größe in bestimmter Lagerung, wie sich im einzelnen aus dem Folgenden ergibt.

Zunächst sind deutliche Anzeichen dafür da, daß die Perlmutterlage ständig wächst. Am Rande einer Wachstumszone finden sich in der Regel kontinuierliche Übergänge von den kleinsten Anlagen der Perlmutterblättchen bis zu fertigen und zwar in einer Anordnung, aus der geschlossen werden muß, daß in der Peripherie der Zone immer neue Kristalle auftreten, die langsam größer werden, bis sie schließlich zur Elementarlamelle zusammenschließen. Bei Periodizität der Sekretlieferung müßte man aber erwarten, daß der in Bildung

1) B. Lindsay (1912) nimmt an, daß zwischen Mond- und Gezeitenperioden und der Bildung neuer Schalenfirsten bei Bohrmuscheln ein Zusammenhang besteht; auch das Studium nicht bohrender Formen schien das zu bestätigen.

begriffene Anteil einer Wachstumszone aus Kristallen gleicher Größe besteht. Wollte man aber annehmen, daß die Kristalle, nacheinander während einer Bildungsperiode ausfallen und deshalb ihre verschiedene Größe zulassen, so bleibt die charakteristische Anordnung der Kristalle (ihre allmähliche Größenabnahme nach der Peripherie der Zone hin) unverständlich.

Auch die Tatsache, daß häufig (so vor allem bei *Pinna*) mehrere übereinander gelegene Elementarlamellen gleichzeitig ausgebaut worden, lehrt deutlich, daß nur das bestimmt begrenzte Dickenwachstum der Perlmutterblättchen Ursache der Lamellierung ist. In solchen Fällen treten ja neue Kristalle auf Anlagen von Perlmutterblättchen auf, die sich noch nicht zu einer einheitlichen Lamelle zusammengeschlossen haben. Das Dickenwachstum dieser Perlmutterblättchen ist mit der Überlagerung durch neue Anlagen für jede Lamelle abgeschlossen, während sie noch längere Zeit fortfahren, sich in der Fläche zu vergrößern, so daß sich die Lamellen nach und nach schließen.

So kann ich denn die Ursache der Lamellierung nicht in einem vom Leben der Mantelzellen abhängigen Zeitfaktor erblicken, sondern muß sie im Kristallisationsprozeß selbst suchen. Für Annahmen wie diejenigen von Leduc (s. S. 20), daß die Bildung der Perlmutter ein Liesegang-Phänomen darstellt, eine periodische Ausfällung von Kalk durch Diffusion des fällenden oder zu fällenden Agens in einer kolloidalen Masse, bieten unsere Beobachtungen nicht den mindesten Anhalt. Vielmehr möchte ich zur Erklärung die bekannte Tatsache heranziehen, daß Kristalle einer bestimmten Substanz unter gegebenen Umständen immer nur eine bestimmte Durchschnittsgröße erreichen. Zwar ist dem Wachstum eines Kristalls theoretisch keine Grenze gesetzt, aber praktisch besteht sie.[1]) In manchen Fällen konnte O. Lehmann (1911) fremde Beimischungen als Ursache der begrenzten Größe feststellen, wenigstens künstlich durch solche die Größe der Individuen reduzieren. So möchte ich denn annehmen, daß in der Zusammensetzung des vom Mantel gelieferten Sekretes und den äußeren Umständen bei der Kristallisation, die Maximalgröße der Kristalle

1) „Der Kristall, das anorganische Individuum, hat auch, wie das organische eine bestimmte Grenze, welche seinem Wachstum gezogen ist; über eine gewisse Größe wächst er nicht hinaus.“ C. Doelter zitiert nach B. Lehmann, Die neue Welt der flüssigen Kristalle, Leipzig 1911.

bestimmt ist. Ständig fallen Kristalle aus, sie wachsen heran, bis sie die Normaldicke erreicht haben; geht die Kalkausscheidung weiter, dann siedeln sich neue Kristalle auf denen an, die ihr Wachstum abgeschlossen haben. Nur so ist verständlich, daß trotz der vielen Wachstumszonen die Lamellierung über große Schalenstrecken hin schließlich einheitlich wird.

Daß (periodische) Schwankungen in der Sekretlieferung vorkommen, soll nicht bestritten werden: für die Dicke der einzelnen Elementarlamellen spielen sie nach unserer Auffassung aber keine Rolle. Ihre Anwesenheit wird sich kaum in der Mikrostruktur, sondern nur in gröberen Zügen, wie z. B. in der konzentrischen Wachstumsstreifung äußern, welche die allmählich erfolgte Flächenvergrößerung der Schale anzeigt. Es verhält sich damit ungefähr so — um noch einmal auf unser Beispiel von einem Gebäude zurückzugreifen — wie die nach und nach bei einem Bau vorgefahrenen Mengen von Ziegeln verbraucht werden. Zufuhr reichlichen Baumaterials läßt den Bau schnell in die Höhe wachsen; steht weniger zur Verfügung, dann geht er langsamer seiner Vollendung entgegen. Derartige Perioden der Materialzufuhr können im fertigen Gebäude etwa dadurch, daß die zu verschiedenen Zeiten gelieferten Ziegel sich etwa in der Farbe unterscheiden, kenntlich bleiben. Sie schneiden aber (infolge der kleinen stets vorhandenen Niveauunterschiede des Baues an verschiedenen Stellen) nicht streng mit Ziegellagen ab und haben mit der regelmäßigen Schichtung der Ziegel überhaupt nichts zu tun. Nur dann, wenn mit einer neuen Zufuhr von Material auch seine Beschaffenheit sich ändert, etwa die Ziegeldicke eine andere wird, kommt dem in einer solchen Bauperiode entstandenen Anteil des Gebäudes eine charakteristische Struktur zu. Durch derartige Schwankungen in der Beschaffenheit des Sekretes erklärt sich nach unserer Anschauung der Wechsel der Lamellendicke.

VI. Über den Zusammenhang zwischen der optischen Orientierung der Perlmutterblättchen und der Schalenform.

Unsere Untersuchungen haben in Übereinstimmung mit anderen Autoren ergeben, daß die Aragonitkristalle in der Perlmutter mit ihren Achsen über größere Schalenstrecken hin parallel geordnet sind, so daß die Perlmuttermasse ein optisch mehr oder minder homogenes Aggregat darstellt. Die kristallographischen Richtungen stehen aber weiterhin

in unverkennbarem Zusammenhang mit den Formverhältnissen der Schale im ganzen. Nicht nur ist die erste Mittellinie (kristallographische Achse c) allgemein senkrecht zur Schalenfläche sondern auch die Achsenebene (bzw. die kristallographischen Achsen a und b) erscheint hinsichtlich der Schalenform festgelegt. Der erste Hinweis auf die letzte Beziehung findet sich in Rose's (1859) Angabe, daß die Reihen der Kristalle bei *Pinna* annähernd senkrecht zu den Anwachsstreifen stehen. Zuletzt hat Karny (s. S. 91) darüber geäußert, daß die Lage der Achsenebene mit der Richtung des Mantelwachstums übereinstimme. Auch ich habe, bevor mir die Abhandlung dieses Autors zu Gesicht kam, mein Augenmerk auf diese Frage gerichtet und sie vor allem bei *Pinna* genau geprüft.

Nehmen wir zunächst einmal an, daß in einer Schale eine bestimmte optische Orientierung der Bauelemente besteht, dann wird im allgemeinen der neu auskristallisierende Kalk sich in optischer paralleler Stellung unter dem Einfluß der molekularen Richtkraft der bereits vorhandenen Kristalle anlagern. Die Bilder, die wir auf der wachsenden Perlmutterfläche sahen, die Parallelordnung schon der frühesten Anlagen von Perlmutterblättchen, spricht ohne weiteres für die Richtigkeit dieser Erklärung. Die Kristallkeime werden sowohl von der Elementarlamelle, auf welcher sie ansetzen, als auch von den benachbarten Blättchen der gleichen Lamelle ausgerichtet, und so kommt die (annähernde) optische Homogenität in der gleichen und zwischen benachbarten Lamellen zustande. Dadurch erklärt sich auch, daß Perlmutterblättchen, die am Rande der Schale auf der Unterlage der Prismen sich ansiedeln, von denen keine Richtkräfte in dem geforderten Sinne auftreten, zunächst ziemlich regellos liegen (s. Fig. 21—23, Taf. 2 *Pinna*) und erst in einiger Entfernung vom Rande, nachdem der Anschluß an ältere Elementarlamellen erreicht ist, eine strengere Anordnung erscheint.

Karny (a. a. O., p. 220, 250, 259) vertritt eine andere Vorstellung, die mir für die erste Orientierung der Teilchen im Beginn der Schalenbildung sehr wertvoll erscheint, der ich aber, nachdem diese einmal erfolgt ist, nur untergeordnete Bedeutung für den orientierten Ansatz neuen Kalkes zusprechen kann. Er nimmt an, das beim Wachsen des Mantels ein konstanter Zug auf die Schale ausgeübt wird (da sie nicht mitwächst, sondern nur durch Ansatz am Rande vergrößert wird), der zur

Orientierung der neu ansetzenden Teile führt. So wäre es ganz begreiflich „daß bei dickeren Schalen diese orientierende Kraft sich nur für die dem Mantel zunächst liegenden Schichten geltend macht, während die von ihm weiter entfernt gelegenen ihrer Wirkung entzogen sind und daher dann eine regellose Anordnung ihrer Teilchen annehmen, so daß sie alsdann nur mit ihren ersten Mittellinien zueinander parallel sind, nicht aber mit ihren zweiten Mittellinien und optischen Normalen . . .“ (p. 250 a. a. O.).

Eine solche Auffassung ist nicht recht verständlich, denn jede Perlmutterlamelle (sowohl die der Prismenschicht benachbarten als die inneren) lag bei ihrer Bildung dem Mantel an und mußte gemäß Karny's Vorstellung eine entsprechende Orientierung ihrer Teilchen erfahren. Oder nimmt Karny an, daß in jenen älteren Lamellen die Teilchen ihre Orientierung wieder verlieren? Das ist doch undenkbar bei der Festigkeit des Perlmuttergefüges. Unter allen Umständen könnte es sich nur um eine Orientierung der Kristallkeime handeln, denn diese setzen sich ja sehr frühzeitig fest. So scheint mir denn die molekulare Richtkraft der bereits vorhandenen Kristalle die wesentliche Ursache für den orientierten Zuwachs zu sein. Dagegen wird man annehmen müssen, daß für den Beginn der Perlmutterbildung überhaupt irgendwelche mechanischen Einflüsse die gesetzmäßige Lage der ersten (und damit aller kommenden) Perlmutterblättchen mit Rücksicht auf die Schalenform herstellen, wobei außer den durch das Wachstum des Mantels oder anderer Organe verursachten Spannungen auch Bewegungen des Tieres und eine den Ansatz der ersten Kristalle begünstigende Formgebung gewisser Mantelstellen in Frage kämen.

Karny (a. a. O. p. 220) gibt an, daß bei *Pinna nobilis* die Achsenebene in bezug auf die Schale längsgerichtet sei. Wie früher auseinandergesetzt, sind die heranwachsenden Blättchen auf der Innenseite der Perlmutterlage von *Pinna* gewöhnlich als rechteckige Täfelchen sehr deutlich ausgebildet und in Reihen hintereinander geordnet, die infolge des sehr allmählich erfolgenden Schlusses der übereinander gelegenen Elementarlamellen durch gut ausgeprägte Furchen voneinander geschieden sind (s. S. 32 u. 50). Im allgemeinen entspricht die lange Kante der Täfelchen und damit auch die Verlaufsrichtung der Reihen und der sie trennenden Furchen gemäß optischer Prüfung der Achsenebene bzw. der Makrodiagonale. Betrachtet man die Perlmutterlage von *Pinna* bei

guter Beleuchtung unter einem Binokularmikroskop, so kann man diese Furchen deutlich wahrnehmen. Indem ich Schalen von *Pinna nobilis*, *Pinna attenuata* Rv. und *Pinna inflata* Ch. in dieser Weise untersuchte, markierte ich an verschiedenen Stellen der Schale die Verlaufsrichtung der Furchen mit der Feder durch Tusche. Nach solchen Schalen wurden dann unter Benutzung des Zeichenapparates die Textfigg. Q—S hergestellt. An einem kleinen, sehr durchsichtigen, etwa 5 cm langen Exemplar von *Pinna nobilis* kontrollierte ich den so gewonnenen Befund der Anordnung der Furchen, bzw. der Kristalle unter dem Mikroskop und fand völlige Übereinstimmung mit dem Ergebnis der anderen Untersuchungsform.

Überall, wo Perlmutter vorhanden ist, sind die Furchen nachweisbar, mit Ausnahme einer kleinen elliptischen Stelle am spitzen Schalenende und einer länglichen Partie in der dorsalen Schalenhälfte, die in den Textfigg. Q—S durch Punktierung gekennzeichnet ist; die erste entspricht dem Ansatz des vorderen Schließmuskels (*vS*), die zweite der beim Wachstum der Schale vom hinteren Schließmuskel zurückgelegten Bahn (*hS*) (vgl. S. 119). Da im Bereich dieser Stellen die Perlmutterlage mit „heller Schicht“ überkleidet ist, der wir ein besonderes Kapitel widmen werden, so sollen sie hier außer acht bleiben; nur so viel sei gesagt, daß die optische Orientierung innerhalb dieser Bezirke mit der der angrenzenden Perlmutter übereinstimmt.

Die einfachsten Verhältnisse bietet *Pinna inflata* (Textfig. Q), bei der die Perlmutterlage eine einheitliche Lamelle darstellt; abgesehen von lokalen Störungen halten die Furchen innerhalb dieses Gebiets überall im wesentlichen parallelen Verlauf ein, wie man aus den in der Zeichnung markierten Stellen entnehmen kann, so daß die optische Orientierung hier im Bereich der ganzen Perlmutter eine gleichartige ist. Die der Achsenebene entsprechenden Furchen verlaufen aber keineswegs in der Längsrichtung der Schale, eher vielmehr senkrecht dazu; denn sie halten einen Winkel von ungefähr 60° zum dorsalen (Schloß-)Rand der Schale ein, der nach vorn geöffnet ist.

Bei *Pinna nobilis* (Textfig. R) und *Pinna attenuata* (Textfig. S) sind die Verhältnisse dadurch verwickelter, daß die Perlmutterlage aus zwei Hälften besteht, die durch ein schmales, nach der Schalenspitze zu sich verjüngendes Gebiet getrennt sind, in dem die Prismenschicht frei zutage tritt. Diese perlmutterfreie Stelle entspricht der

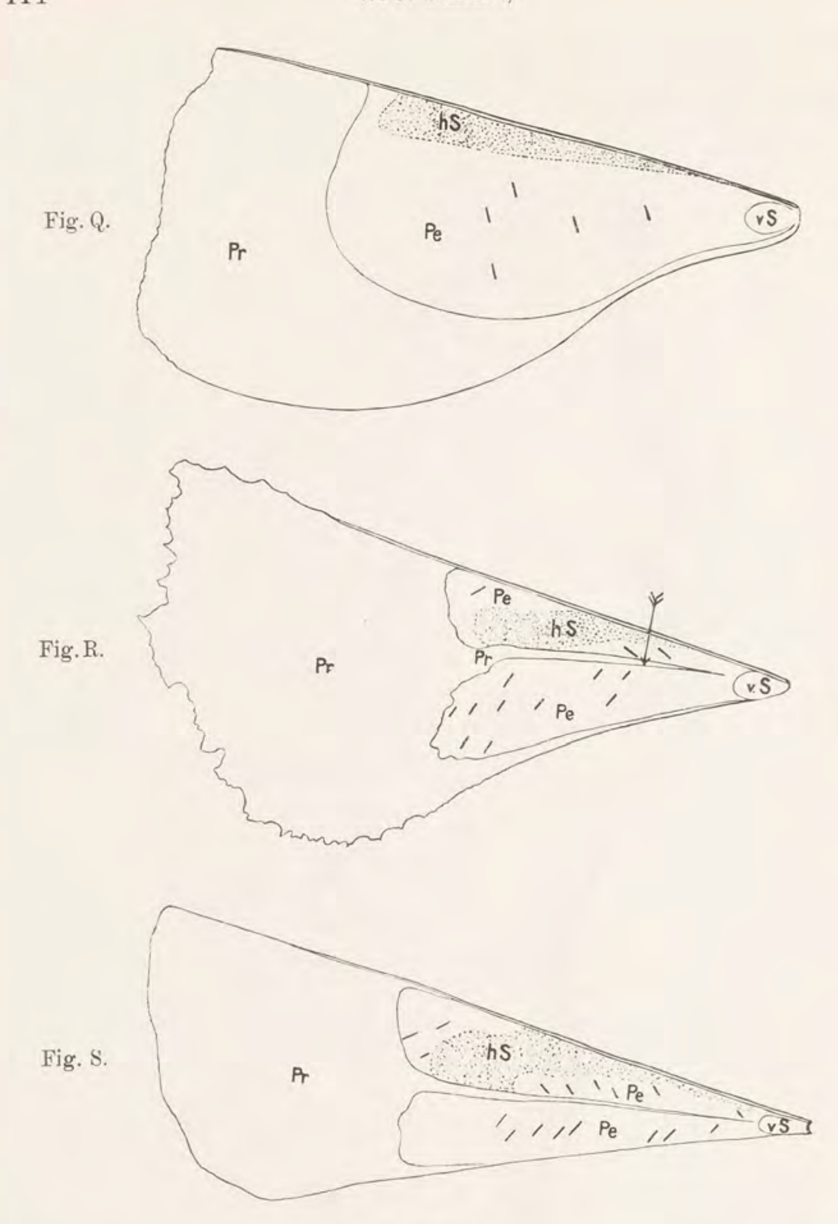


Fig. Q—S.

Innenansicht der (linken) Schale von *Pinna inflata* (Fig. Q, ungefähr auf 1/2 verkl), *P. nobilis* juv. (Fig. R, 1 : 1), *P. attenuata* (Fig. S, ungefähr auf 1/2 verkl.). *Pr* Prismenschicht (nicht von Perlmutter bedeckt). *Pe* Perlmutter. *vS* Ansatzstelle des vorderen Schließmuskels. *hS* helle Schicht auf der Bahn des hinteren Schließmuskelansatzes (punktiert). Die Richtung der (oberflächlichen) Reihenstreifung in der Perlmutter ist durch Striche angedeutet.

auf der äußeren Schalenseite sichtbaren gerundeten Kante, welche durch winklige Längsknickung jeder Schale zustande kommt, und die Unterbrechung der Perlmutterlage an ihr bedingt, daß derartig geknickte Schalen leicht in ein dorsales und ventrales Stück zerspringen. Bei *Pinna inflata* fehlt diese Knickung der Schale, die hier vielmehr, wie der Name sagt, rundlich aufgebläht ist.

Dorsales und ventrales Gebiet der Perlmutterschicht von *Pinna nobilis* und *attenuata* zeigen nun jedes für sich im wesentlichen überall gleichen, gegeneinander dagegen ungefähr rechtwinklig gekreuzten Verlauf der Furchen (vgl. Fig. R und insbesondere S). Die Neigung dieser Richtungen gegen die Grenzen der beiden Perlmuttergebiete schwankt zwischen 30° und 60°.

Einer Besonderheit müssen wir noch gedenken. Zu meiner nicht geringen Verwunderung fand ich sowohl bei *Pinna nobilis* als auch bei *P. attenuata* in dem kleineren außerhalb des hinteren Schließmuskels am Schloßrand gelegenen Perlmuttergebiet die Furchen etwa um 90° gegen die sonstige (innen vom Schließmuskel festgestellte) Richtung gekreuzt (vgl. Textfig. R u. S). Zunächst war ich geneigt, hier tatsächlich eine optisch andere Orientierung der Kristalle anzunehmen; eine Prüfung des Achsenbildes ergab aber, daß hier Furchen (bzw. Längsrichtung der rechteckigen Kristalle) und Achsenebene senkrecht zueinander stehen (s. S. 99 u. 100 zweierlei Kristalle von rechteckiger Gestalt), so daß doch die optische Orientierung der Elementarteile im ganzen dorsalen Perlmuttergebiet einheitlich ist.

Eine Form, welche eine gleich strenge Anordnung der Elementarteile besitzt wie *Pinna*, ist mir unter meinem Material nicht mehr begegnet, zum mindesten läßt sich bei keiner der Nachweis derselben in dieser Ausdehnung und Leichtigkeit führen. Bei *Meleagrina* habe ich sowohl aus der Peripherie als auch aus dem Innern der Schale (gleichmäßig auf den Umkreis verteilt) mehrere längliche Stücke in radialer Richtung herausgesägt und zu Flachschliffen verarbeitet. Prüfung der Lage der Achsenebene ergab, daß sie im großen und ganzen radiär, d. h. senkrecht zu den auf dem Schalenäußern sichtbaren Zuwachsstreifen steht. Das gibt auch Karny für *Meleagrina* an. Auch an Flachschliffen durch die auslaufende Perlmutterschicht am Schalenrand fand ich die Achsenebene senkrecht zum Schalenrand.

Bei meinen sämtlichen Flachschliffen durch die auslaufende Perl-

mutterschicht der Unioniden stand die Achsenebene senkrecht zu den Zuwachsstreifen der Schale, d. h. in der Richtung des Schalenwachstums (*Margaritana*, *Anodonta anserina*, *Barbala*). Etwas genauer habe ich die Verhältnisse bei *Anodonta cellensis* geprüft, indem ich je drei Stücke mit bekannter Orientierung zum Schalenganzen aus dem außer- und innerhalb der Mantellinie gelegenen Bereich einer Schale entnahm, sie zu Flachschliffen verarbeitete und konoskopisch untersuchte; alle zeigten die Achsenebene im wesentlichen mit der Wachstumsrichtung in Übereinstimmung.

Es wäre sehr wünschenswert, wenn die Jugendschalen (Prodissoconchen) der Lamellibranchier mit Rücksicht auf die Beziehungen zwischen optischer Orientierung der Elementarteile und Schalenform einmal genau untersucht würden. Bei ihrer geringen Größe und Dicke dürften sie sich meist zu einer Prüfung als Ganzes unter dem Polarisationsmikroskop eignen. Bereits Valentin (1861, p. 209) beobachtete, daß Glochidien von *Anodonta* zwischen gekreuzten Nicols ein schwarzes Kreuz geben, „dessen längerer Arm der von dem spitzen Schalenende ausgehenden Längsachse entspricht und dessen Querarm von der Spitze entfernt liegt. Die Einschaltung eines Gipsplättchens erzeugt die lebhaftesten verhältnismäßig negativen gelben und blauen Färbungen. Die Hauptrichtung der optischen Achse geht vermutlich in der Dicke dahin. Die innersten dem Aragonit entsprechenden Schichten mangeln noch auf diesem Entwicklungszustand."

Auch mir ergaben aus den Kiemen von *Anodonta* entnommene Glochidien, die von den Weichteilen mittels Kalilauge befreit waren, prachtvolle Erscheinungen im polarisierten Licht, die an Sphäritenkreuze erinnern, deren Mittelpunkt ungefähr mit der höchsten, dem Schloßrand genäherten Wölbung der Schale zusammenfällt. Geht eine Polarisationsebene parallel dem Schloßrand, dann zieht auch der eine Balken des Kreuzes diesem parallel, der andere senkrecht zu ihm und zwar in der Verbindungslinie der Mitte des Schloßrandes mit dem Schalenhaken. Beim Drehen des Objekttisches bleibt das schwarze Kreuz stehen und zeigt nur leichte Verzerrungen. Es besteht also in den Richtungen radiär zum Schalenbuckel, die wohl auch mit den Wachstumsrichtungen übereinfallen, eine überaus deutliche optisch gleichartige Anordnung der kristallinischen Teile.

Bei hinreichender Vergrößerung sieht man aber weiterhin im polarisierten Licht, daß die Schale aus kleinen polygonalen

Blättchen, im mittleren Durchmesser von etwa 10 μ, zusammengesetzt ist. (Ausnahmsweise können sie sehr viel größer werden.) Die einzelnen geben vollkommene Auslöschung, die Schwingungsrichtungen benachbarter weichen aber gemäß dem eben über die Schale als Ganzes Gesagten etwas voneinander ab. Die Begrenzung der Arme des dunklen Kreuzes erscheint zackig, indem sie von Rändern der genannten Blättchen bestimmt wird. Das ganze Bild erinnert durchaus an die Zusammenfügung der Elementarlamellen aus Perlmutterblättchen. Da ich konoskopisch, wenn auch undeutlich ein zweiachsiges Bild sehe, somit die erste Mittellinie senkrecht zur Schalenfläche stehen würde, muß ich die Substanz der Glochidien als der Perlmutter nahe verwandt ansprechen. Es ist bemerkenswert, daß die feinen Poren der Schalenwand mitten durch die Kristalle hindurchgehen.

Angaben über den feineren Bau der Glochidienschale habe ich in der Literatur nicht auffinden können. Jackson (1890, p. 366) hebt hervor, daß die Prodissoconchen der Unioniden durch körnige Oberfläche ausgezeichnet seien und ihnen jede Spur von Prismen fehle. (p. 369). Herbers (1913, p. 67—68) konnte an der Glochidienschale von *Anodonta cellensis* auf Schnitten keine Struktur wahrnehmen; die früheste Anlage der definitiven Schale erfolgte nach ihm wahrscheinlich schon in der letzten Zeit des embryonalen Lebens durch eine feine Perlmutterlamelle (p. 63), welche die larvale Schale auskleidet. Nun möchte es scheinen, als ob der von mir beobachtete Aufbau aus polygonalen Blättchen an der Glochidienschale auf diese allererste Anlage der Perlmutter zu beziehen sei; doch war es mir an zerbrochenen Schalen nicht möglich, auch nur eine Andeutung von einer Zusammensetzung der Schalenmasse aus zwei verschiedenen Lagen festzustellen und daher möchte ich bis auf weiteres annehmen, daß die larvale Schale, soweit sie kalkig ist, durch und durch aus diesen Blättchen aufgebaut ist. So würde denn die Perlmutterbildung in kontinuierlichem Zusammenhang mit der Anlage der ersten Kalkschicht des Glochidiums stehen.

Weitere Gelegenheit zur Untersuchung von Embryonalschalen hatte ich nicht; doch konnte ich junge 1—3 mm lange Exemplare von *Mytilus edulis* prüfen. Bei ihnen ließ sich die Prodissoconcha noch gut vom übrigen Teil der Schale unterscheiden, denn an ihrem Umkreis erst sitzen außen die fadenförmigen Calcitprismen an, während mit Ausnahme der Randgegend die ganze Schalenfläche innen von Perlmutter ausgekleidet ist.

Auf der Außenseite der Prodissoconcha konnte ich nicht

sicher die Perlmutterblättchen erkennen und muß es daher unentschieden lassen, ob sie ebenso wie die Glochidien von *Anodonta* aus einem perlmutterartigen Material besteht. Jedenfalls zeigt sie im polarisierten Licht ein schwaches Sphäritenkreuz bei scharfer Einstellung; fokussiert man dagegen das Zentrum der Kugel, als deren Kalotte die Prodissoconcha gelten kann, dann wird das Sphäritenkreuz viel deutlicher und erscheint von farbigen Interferenzringen umgeben (Bertrand'sches Kreuz, wie es tangentialen Abschnitten von Sphärokristallen zukommt). Es besteht also auch hier eine gesetzmäßige Orientierung der Elementarteile mit Rücksicht auf das Schalenganze.

Das allgemeine Verhalten der Perlmuttermasse bei solch jungen Schalen von *Mytilus* haben wir bereits besprochen (s. S. 53 u. 54, Textfig. L u. M). Nach dem Schalenrande zu löst sich die Perlmutterschicht in zahlreiche, immer kleiner werdende Einzelkristalle auf, die eine breite Wachstumszone darstellen; schon bei den kleinsten Exemplaren von 1 mm größtem Durchmesser ist aber die Schicht im Zentrum der Schale vollkommen geschlossen. Da die Perlmutter, soweit sie nicht der Innenfläche der Prodissoconcha angehört, der Prismenschicht aufliegt, so hält es schwer über die Orientierung der Achsen a und b Klarheit zu bekommen; denn die fadenförmigen, radiär vom Prodissoconcharand ausstrahlenden Prismen laufen der Schalenfläche fast parallel; fällt ihre Längsrichtung mit einer Polarisationsebene zusammen, dann erscheinen sie dunkel, und nur dann treten die auf ihnen gelegenen Perlmuttermassen deutlich hervor; befinden sich die Prismen aber im Maximum der Helligkeit, dann lassen sich die Perlmutterkristalle nicht erkennen.

Jedenfalls zeigen die hier insgesamt mitgeteilten Befunde, daß in vielen Fällen die optische Orientierung der Perlmutterblättchen gesetzmäßig zur Schalenform ist, indem nicht nur stets die kristallographische Achse c senkrecht auf der Schalenfläche steht, sondern auch die beiden anderen Achsen bestimmte Lage zum Schalenganzen einhalten. Vielfach fanden wir, wie auch bereits Karny festgestellt, die Achsenebenen senkrecht zu den Zuwachsstreifen. Doch wird es noch weiterer eingehender Untersuchungen bedürfen, um ein sicheres Urteil über die bei dieser Orientierung wirksamen Kräfte zu gewinnen. Sicherlich sind sie „vitalen" Ursprungs, mögen nun Wachstumsspannungen oder Bewegungen des Tieres oder noch andere Lebensäußerungen desselben in Frage kommen.

So können wir denn im Hinblick auf die bisherigen Ergebnisse der vorliegenden Abhandlung nur Biedermann (1904, p. 171) beistimmen: „Bei den Molluskenschalen handelt es sich um Bildungen, die in der Hauptsache auf Kristallisationsprozesse zurückzuführen sind, die unabhängig von den lebendigen Zellen außerhalb derselben verlaufen und nur insofern von jenen beeinflußt werden, als im gegebenen Falle eine bestimmte Zusammensetzung des flüssigen Sekretes und vielleicht auch eine gewisse Orientierung der primären Kristallisationszentren die notwendige Voraussetzung ihrer Entstehung ist."

B. Die helle Schicht als eine Abart der Perlmuttermasse.

a) Historisches.

Dort, wo sich Muskeln an der Innenfläche der Muschelschalen anheften, also insbesondere an den Ansatzstellen der Schließ- und Mantelmuskeln, findet sich bekanntlich eine Schalenmasse, die sich schon für die Beobachtung mit unbewaffnetem Auge von der Perlmutter unterscheidet und wegen ihres Aussehens am Querschliff als „helle" oder durchsichtige Schicht bezeichnet worden ist; einige Autoren nennen sie auch Hypostracum. In dem Maße, wie die Muskeln beim Größerwerden der Schale ihre alten Haftstellen aufgeben und neue gewinnen, wird an diesen eine helle Schicht gebildet, an jenen aber die alte, nunmehr freigelegte, wieder von Perlmutter bedeckt. So kann die helle Schicht auf Schalenquerschliffen mitten in der Perlmuttermasse erscheinen und in ihrer ganzen Ausdehnung kennzeichnet sie den Weg, den die Ansatzstelle einesMuskels beim Schalenwachstum zurückgelegt hat.

Alle Forscher, die sich mit der hellen Schicht beschäftigt haben, geben übereinstimmend an, daß sie auf dem Querschliff eine feine senkrechte Streifung zeige (v. Nathusius-Königsborn, 1877, p. 67 ff. *Mytilus*, *Meleagrina*, *Ostrea*), die auf ihre Zusammensetzung aus Stäbchen, Fasern oder Prismen zurückgeführt wird (Tullberg, 1882, p. 26; Ehrenbaum, 1885, p. 14; Thiele, 1893, p. 239; List, 1902, p. 72—73; Rubbel, 1912, p. 307; Jameson, 1912, p. 306—307). Müller (1885, p. 219) unterscheidet an den Stäbchen verschieden brechende Abschnitte. Rassbach (1912, p. 408) betont für *Anodonta* das häufige Vorkommen von kegelförmigen Gebilden, die den prismatischen Aufbau in den Hintergrund drängen.

Ferner ist die helle Schicht in der Horizontalen lamellär geschichtet (Tullberg, 1882, p. 26; Ehrenbaum, 1885, p. 14; Rubbel, 1912, p. 307; Rassbach, 1912, p. 408—414), was Müller (1885, p. 219) auf die bereits genannte Quergliederung der einzelnen

Stäbchen zurückführen möchte, Jameson (1912, p. 305) mit dem wechselnden Verhalten der organischen Basis in Zusammenhang bringt.

Die Oberfläche der hellen Schicht besitzt bei *Meleagrina* ein netzartiges Relief (v. Nathusius-Königsborn, 1877, p. 67), das nach Tullberg (1882, p. 26) an Flächenschliffen fehlt. Doch findet Jameson (1912, p. 306—307) bei *Meleagrina* alveolären Bau des Flachschliffes und hebt die Neigung der hellen Schicht hervor, in Stücke zu zerfallen, die den unterliegenden Epithelzellen entsprächen.

Beim Entkalken hinterläßt die helle Schicht organische Substanz (Tullberg, 1882, p. 26), ja nach Müller (1885, p. 220) sollen die Stäbchen überhaupt aus organischer Masse, nicht aus Kalk bestehen. Die organische Grundlage unterscheidet sich in ihrem färberischen Verhalten nach Jameson (1912, p. 306—307) vom Conchin der übrigen Schale (*Meleagrina*). Nach Rassbach (1912, p. 408—414) bleibt die (nur in geringem Maße bei *Anodonta*) vorhandene organische Substanz nach dem Entkalken in Form von Lamellen zurück, die sich nach Hämatoxylin-Eosinfärbung, im Gegensatz zu denen der Perlmutterlage, rot färben.

v. Nathusius-Königsborn (1877, p. 67) fand in der hellen Schicht vor allem bei *Mytilus* feine Kanäle, die den Muskel in Beziehung zum Schaleninnern setzen sollen; auch Ehrenbaum (1885, p. 14) spricht von senkrecht die Schicht durchlaufenden Kanälen bei der gleichen Form.

Schließlich macht Karny (1913, p. 219) einige Angaben über Ätzfiguren bei *Pinna*, die ich auf die helle Schicht beziehen möchte, obwohl sie bei dem Autor selbst der Perlmutter zugeschrieben werden. Auf der dem Mantel zugekehrten Seite der Schale findet er Blättchen, die mit unregelmäßig zackigen Rändern aneinander grenzen, ähnlich den Nähten der Schädelknochen. Durch Ätzung auf dieser Fläche erhielt er kleine längliche Grübchen von nicht genauer erkennbarer Form, die parallel geordnet waren und deren Längsdurchmesser in die Richtung der Achsenebene fiel. Da die Ätzfiguren des Aragonits gemäß v. Ebner parallel der Brachydiagonale stehen, also um 90° zu den beobachteten Figuren gedreht sind, nimmt Karny an, daß die Grübchen auf einer geringeren Widerstandsfähigkeit der Perlmutter in dieser Richtung beruhe, die entweder auf eingelagerte organische Substanz zurückzuführen ist oder vielleicht mit dem Wachstumsvorgang oder dadurch bedingten Zugkräften in Zusammenhang stehe. Wie weit sich die optischen Angaben, die Karny für Perlmutter von *Pinna* macht, auf die helle Schicht beziehen, muß dahingestellt bleiben. Seine Abbildungen 4 und 5, die als Innenfläche der Perlmutterschicht bezeichnet sind, sind mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit als Darstellungen der hellen Schicht zu bezeichnen.

Neumann (s. S. 8) hat einen Flächenschliff durch die helle Schicht vom Schließmuskelansatz der *Meleagrina* konoskopisch untersucht; er zeigte Zwei- bis Einachsigkeit bei einem Maximalachsenwinkel von 5° 3′.

Über die Bildung der hellen Schicht gehen die Meinungen weit auseinander. Tullberg (1882, p. 26), nimmt an, die durchsichtige Sub-

stanz entstehe durch allmähliche Umwandlung des äußeren Teiles des darunter gelegenen Epithels; MÜLLER (1885, p. 220) dagegen sieht in den Stäbchen die erhärteten Muskelfaserenden selbst. EHRENBAUM (1885, p. 43) glaubt, daß (bei dem vermeintlichen Mangel eines Epithels in der Gegend des Muskelansatzes) die spindelförmigen Muskelzellen selbst die sekretorische Tätigkeit übernähmen, und das charakteristische Gefüge der hellen Schicht dadurch zustande komme, daß die Muskelzellen beim Wachstum des Tieres nach und nach aus ihren Höhlungen heraustäten und diese nachträglich mit Kalk erfüllt würden. JAMESON (1912, p. 306—307) erblickt in der abweichenden färberischen Reaktion der organischen Grundlage (s. o.) bei *Meleagrina* einen Hinweis auf die Entstehung der hellen Schicht durch allmähliche Umwandlung der Zellsubstanz. Auch RASSBACH (1912, p. 408—414) schließt sich dieser auf TULLBERG (s. o.) zurückgehenden Anschauung an. Ebenso äußert SIEBERT (1913, p. 474) für *Anodonta cellensis*, daß dort, wo Weichkörper und Schale zusammenhängen, eine Umwandlung der distalen Zellenschnitte in Schalensubstanz stattfinde und so an den Muskelhaftstellen (und am Periostracum) besser als durch Sekretion eine Verbindung von Schale und Tier gesichert sei.

Das Verhalten des Epithels an der hellen Schicht hat BRUCK (1913, p. 17) bei *Unio* und *Anodonta* (auch *Cyclas*) mit dem Ergebnis geprüft, daß hier ein besonders differenziertes Haftepithel besteht, das die Verbindung von Muskel und Schale vermittelt; es bildet zunächst intrazelluläre „epitheliale Fibrillen", die einerseits am Hypostracum angekittet sind, andererseits mit je einer Muskelfibrille verschmelzen, ferner sezerniert es die helle Schicht.

Als einziger von allen Autoren nimmt LIST (1902, p. 72—73) an, die Prismen der hellen Schicht könnten nach dem Überwallen mit Perlmutter nachträglich zusammengepreßt werden.

Einer solchen Auffassung wird man die Bemerkung von RUBBEL (1911, p. 21) entgegenhalten müssen, daß (bei *Margaritana*) die helle Schicht um so dicker ist, je länger der Muskel an derselben Stelle haftet.

Über die Beziehungen der hellen Schicht zu anderen Schalenlagen hat sich am eingehendsten RUBBEL (1913, p. 22) ausgesprochen. Wenn der prismatische Aufbau dieser Lage auf eine Übereinstimmung mit der Prismenschicht hinweise, so beständen doch zwischen beiden durchgreifende Unterschiede, die es rechtfertigten, die helle Schicht neben Periostracum, Prismen und Perlmutter als besondere, vierte Schalenschicht zu bezeichnen. Nicht nur seien die Stäbchen in der hellen Schicht schmäler als in der Prismenschicht, sondern dort herrsche auch die Kegelform vor. Und während die Prismenlage, wo immer sie auftritt, an das Vorkommen einer, wenn auch noch so dünnen Periostracumlamelle gebunden sei, erscheine die helle Schicht vollkommen unabhängig von Periostracum. Wie die übrigen Schalenlagen, so bildet auch die helle Schicht Perlen, die sich vornehmlich in der Nähe des hinteren Schließmuskels finden und durch radiärstrahligen Bau ausgezeichnet sind.

b) Eigene Untersuchungen.

Meine Beobachtungen an der hellen Schicht beschränken sich auf ihr Vorkommen an den Schließmuskelansätzen zweier Formen, bei denen sie besonders mächtig entwickelt ist, auf *Pinna* und *Meleagrina*. Hier war es möglich, orientierte Schliffe nach verschiedenen Richtungen anzufertigen. Ich bemerke ausdrücklich, daß ich die Gültigkeit der hier mitgeteilten allgemeinsten Ergebnisse nach Stichproben bei einigen Unioniden unbedenklich auf alle Schalen mit Perlmutterlage glaube ausdehnen zu dürfen; dagegen soll damit über das Verhalten der Schaleninnenflächen am Muskelansatz bei Calcitschalen (s. S. 6), bei denen auch diese Schalenstellen ein von der übrigen Innenfläche merklich verschiedenes Aussehen zeigen, nichts festgelegt werden.

1. Die helle Schicht von *Pinna*.

Als einzige Angabe über die helle Schicht von *Pinna* ist mir in der Literatur W. v. Nathusius' (1877, p. 94) kurze Bemerkung begegnet, „daß die Basis des Schließmuskels durch eine freilich ziemlich schwache aber sonst der bei *Mytilus* und *Meleagrina* ähnliche ‚Prismatische Schicht' gebildet wird".

Pinna hat bekanntlich zwei Schließmuskeln von sehr verschiedener Größe. Der vordere kleine nimmt das spitze Ende der Schale ein, wo er einen ovalen Abdruck (*vS*, Textfig. Q—S, S. 114) hinterläßt. Der hintere ist viel umfangreicher, von annähernd kreisförmigem Querschnitt und setzt in der dorsalen Schalenhälfte auf der auslaufenden Perlmutterlage nahe ihrem hinteren Ende an (vgl. auch fig. 6, tab. XXXV, in Bronn's Klass. u. Ordn. d. Tierreichs, Vol. 3, 1, 1862). Hier findet man aber einen Abdruck, der nur nach hinten (in der Richtung, in welcher der Schließmuskel beim Größerwerden der Schale wandert) mit der Form des Muskels übereinstimmt; nach vorn dagegen zeigt die Muskelnarbe keine scharfe Grenze, sondern die ihr eigentümliche Schalenbeschaffenheit erstreckt sich über den Umfang des Muskels hinaus, ständig schmäler werdend, weit gegen das spitze Schalenende hin. So kommt ein langgestrecktes Gebiet zustande, das schon für die Betrachtung mit bloßem Auge von der umgebenden Perlmuttermasse abweicht und in den Textfigg. Q—S punktiert angegeben ist. Wie sich aus dem folgenden ergibt, ist dieses Verhalten derart zu deuten, daß die vom Muskel bei seiner Wanderung (infolge des Schalenwachstums) freigegebene Narbe längere Zeit ihre ursprüngliche Be-

schaffenheit beibehält, so daß hier fast der ganze Weg, den der Muskel nach und nach zurücklegte, auf dem Schaleninnern zu überschauen ist. Bekanntlich wird im allgemeinen die helle Schicht beim Vorrücken des Muskels von Perlmutter überkleidet, so daß nur derjenige Teil von ihr, welcher dem Muskel jeweils zum Ansatz dient, auf der inneren Oberfläche der Schale sichtbar ist. Wir müssen also das geschilderte Gebiet in der dorsalen Schalenhälfte von *Pinna* als helle Schicht (des hinteren Schließmuskels) ansprechen; ihr wollen wir zunächst unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Unter dem Binokularmikroskop vermißt man an der hellen Schicht die zarte Streifung, die der Perlmuttterlage von *Pinna* infolge der Furchen (s. S. 118) eigen ist, ebenso auch die Wachstumsmaserung. Vielmehr erinnert die Flächenansicht einigermaßen an die der Prismenschicht, indem sie zahlreiche kleine glänzende Feldchen darbietet, die dicht zusammenschließen. Einzelne von ihnen ragen etwas über die gemeinsame Fläche empor und verursachen ein stärkeres Glitzern. Diese Beschreibung trifft vor allem für den vorderen, dem spitzen Schalenende genäherten Abschnitt der hellen Schicht zu; dort, wo der Muskel jeweils anhaftet, ist in der Flächenansicht nichts Deutliches von den Feldchen zu erkennen; vielmehr machen sich hier konzentrische Streifen bemerkbar, deren Wölbung nach dem hinteren Schalenende weist; sie markieren offenbar die Etappen, in denen der Muskel vorrückte.

Um weitere Einzelheiten zu erkennen, muß man zu durchfallendem Licht übergehen. Am einfachsten lassen sich geeignete Präparate gewinnen, indem man ein kleines Plättchen mehr nach vorn aus der zu prüfenden Schalengegend heraussägt und dann mittels eines Messers die Prismenlage abspaltet. Es hinterbleibt dann ein dünnes, aus heller Schicht und Perlmutter bestehendes Blättchen, von dem die letzte nun durch Abschleifen entfernt wird; die Lamelle aus heller Schicht wird dann entweder nur mit Balsam der Objektträger aufgekittet und lufttrocken untersucht oder in Balsam eingeschlossen.

Derartige Präparate (Fig. 52, Taf. 5; vgl. auch fig. 4 u. 5 bei Karny, a. a. O.) zeigen die Feldchen von wechselnder Gestalt, bald isodiametrisch, bald überwiegend nach einer Richtung gestreckt (Fig. 58, Taf. 5), fast immer aber von eigentümlich zackigen Grenzlinien umrissen. Dieses Bild kommt nicht nur der Oberfläche zu, sondern läßt sich auch in die Tiefe hinein verfolgen und

bleibt daher erhalten, wenn man die Oberfläche abschleift. Grenzt die natürliche Außenfläche an Luft, so erscheinen die Umrisse der Feldchen tiefschwarz und stellenweise durch breite Konturen geschieden. Das wird aber nicht etwa durch Conchinmassen bedingt, wie man nach Analogie mit der Prismenschicht vielleicht annehmen möchte, sondern durch luftgefüllte Spalten, die von der Oberfläche ausgehend, die einzelnen Feldchen voneinander trennen; das durchfallende Licht erfährt an der Grenze von Kalk gegen Luft zum Teil totale Reflexion und daher sehen die Spalten dunkel aus. Bei Einschluß in Balsam tritt die Erscheinung sehr stark zurück.

Über das Wesen der Feldchen gewährt das Grenzgebiet von Perlmutter und heller Schicht im Flächenbild Aufschluß (Fig. 53, Taf. 5). Die Reihen der Perlmutterblättchen, die durch die bekannten Furchen voneinander geschieden sind, entsprechen in ihrem allgemeinen Zug der Längsrichtung der Feldchen; auch die Größe eines jeden Feldchens stimmt mit den Komplexen der Perlmutterblättchen überein; nur fehlen zwischen den Feldchen im allgemeinen die breiteren Furchen, die für die Perlmutter von *Pinna* so charakteristisch sind. Daher können wir wohl schon nach dieser Beobachtung annehmen, daß zwischen der Perlmutter und der hellen Schicht nähere Beziehungen bestehen. Jedes Feldchen scheint einem Komplex von Perlmutterblättchen zu entsprechen.

Das findet in der Tat weitere Stützen in einer genaueren Untersuchung der Grenzlinien der Feldchen. An manchen Stellen (Fig. 54, Taf. 5) erweisen sich die Umrisse bei hinreichender Vergrößerung aus geradlinigen Abschnitten zusammengefügt, die häufig wiederkehrende, auch einspringende Winkel einschließen. So kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die Grenzen zum Teil Kristallflächen entsprechen und jedes Feldchen ein Aggregat von Kristallen darstellt. Ja wir erkennen leicht einzelne Kristalle nach ihrer Form als Aragonitkristalle, so das rhombische Prisma mit den Längsflächen (Fig. 54, Taf. 5 unten rechts). Schon hier sei darauf hingewiesen, daß die charakteristischen Winkel vielfach parallel gestellt erscheinen und somit wie in der Perlmutter eine bestimmte Orientierung der Komponenten vorliegt. Doch handelt es sich nicht nur um Parallelverwachsungen, sondern es treten auch innerhalb der einzelnen Felder andersartige auf, die sich bisweilen in entsprechenden Streifungen auf der Oberfläche der Kristalle äußern. Feldchen mit größer ausgebildeten Kristallflächen

sind es in der Regel, die etwas über die allgemeine Oberfläche hervorragen und ihr Glitzern verursachen. —

Ein Querschliff durch den vorderen Teil der Schale von *Pinna nobilis*, senkrecht zu ihrer Längsachse (also etwa in der Richtung des Pfeiles auf Textfig. R) durchschneidet die helle Schicht in ihrer Breitenausdehnung. Er bietet ein ziemlich verwickeltes Bild dar (Textfig. T). Den größten Anteil an der Schalendicke hat die Prismenlage (*Pr*), die vom Schloßrand (*S*) nach der Schalenmitte hin an Stärke zunimmt und in dem spaltförmigen Gebiet zwischen den beiden Abschnitten der Perlmutterlage (vgl. Textfig. R) als einzige Schalensubstanz erscheint (bei *M*, Textfig. T). Ihr liegt innen die Perlmutterlage (Pe_1, Textfig. T) an, die, am Schloßrand (*S*) von ziemlicher Dicke, gegen die Schalenmitte hin auskeilt. Das Verhalten der hellen Schicht (*hS*, Textfig. T) weicht insofern vom Flächenbild ab, daß sie viel weiter ausgedehnt ist, als sie auf dem Schaleninnern zutage tritt, indem sie in ihren seitlichen Partien von Perlmutter (Pe_2) überlagert wird. Die größte Dicke erreicht die helle Schicht am Schloßrand; nach der Schalenmitte zu nimmt sie langsam an Stärke ab und läuft schließlich ganz dünn aus. Zwischen die helle Schicht und die ihr aufruhende Perlmutter (Pe_2) schiebt sich am Schloßrand ein Teil des Ligamentes (*L*) ein.

Querschliffe aus verschiedenen Abschnitten der hellen Schicht ergeben, daß sie nach hinten zu immer dünner wird, also am zeitigen Muskelansatz die geringste Stärke besitzt.

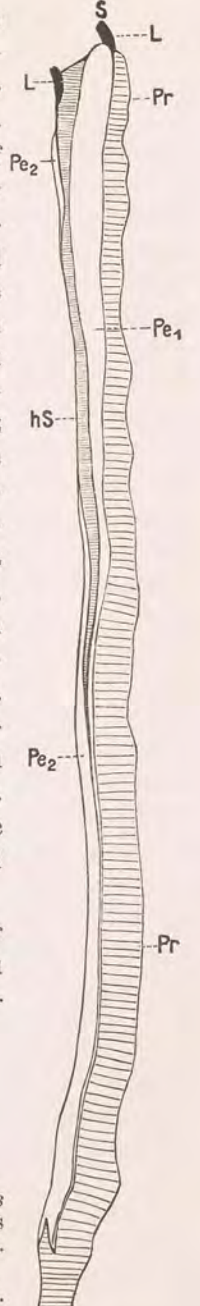


Fig. T.

Querschliff durch die dorsale Hälfte einer Schale von *Pinna nobilis* nahe dem spitzen Schalenende (Lage und Richtung des Schliffes ist in Textfig. R ungefähr durch einen Pfeil markiert. 7:1. *S* Schloßrand. *M* Mitte der Schale. *Pr* Prismenschicht. Pe_1 Perlmutter. *hS* helle Schicht (vom hinteren Schließmuskel). Pe_2 Perlmutter über der hellen Schicht. *L* Ligament.

An dünnen Querschliffen macht die helle Schicht ihrem Namen alle Ehre, ist sie doch noch durchscheinender als die Prismen, denen sie durch ihren säuligen Aufbau zunächst verwandt erscheint (Fig. 55, Taf. 5). Aber auch abgesehen von dem geringeren Querschnitt fehlten ihren „Prismen“ die für Calcitprismen infolge der umhüllenden Conchinlamellen so gute Begrenzung und die charakteristischen Spaltflächen; vielmehr splittern die Elemente der hellen Schicht ganz unregelmäßig ab und sind auch nicht an allen Stellen deutlich voneinander zu sondern. Die Deutung des Querschliffsbildes bietet nach unseren Befunden in der Flächenansicht keine Schwierigkeiten: jedes Feldchen entspricht einer Säule und wie jene stellenweise nicht vollkommen voneinander geschieden sind, so hängen auch die Säulen hier und da zusammen.

Durch Kochen mit Kalilauge gelingt es, die Elemente der hellen Schicht zu isolieren (Fig. 56, Taf. 5); sie fallen aber keineswegs so leicht auseinander wie die Prismen. Die so gewonnenen Säulen sind von unregelmäßigem Querschnitt mit Leisten und scharf einschneidenden Rillen versehen, ganz wie es nach der Flächenansicht zu erwarten ist. Auch die zusammengesetzte Natur der meisten Säulen prägt sich deutlich an den isolierten aus.

Zarte Horizontalstreifung der hellen Schicht habe ich nur an dickeren Schliffen wahrgenommen; an dünneren sah ich gelegentlich (Fig. 55, Taf. 4) eine ganz scharfe Schichtlinie, welche die kalkigen Elemente zweifellos ganz durchsetzt, was mir von den feinen Horizontallinien zweifelhaft ist. Gegen die angrenzende Perlmutter ist die helle Schicht auf dem Querschliff gut abgesetzt (Fig. 55, Taf. 5).

Die Befunde am Querschliff, der allgemeine Aufbau, der in der ganzen Ausdehnung wesentlich gleichartig ist, rechtfertigt die eingangs gegebene Deutung, daß das ganze langgestreckte freiliegende Gebiet in der dorsalen Schalenhälfte, obwohl es nur in seinem hintersten Teil dem Muskel als Ansatz dient, zur hellen Schicht rechnen muß. Der Unterschied gegenüber dem gewöhnlichen Verhalten der hellen Schicht besteht nun darin, daß erst sehr langsam auf der hellen Schicht wieder normale Perlmutterbildung einsetzt. Vielmehr wächst die helle Schicht, nachdem sie vom Muskel freigegeben ist, zunächst in ihrer typischen Struktur weiter. Nur so läßt sich verstehen, daß die helle Schicht in ihren ältesten Teilen (nahe der Schalenspitze) am dicksten ist, nach hinten immer mehr an Stärke abnimmt und am dünnsten unter dem Schließmuskel erscheint. Damit ist ein gegenüber der Norm gerade umgekehrtes

Verhalten gegeben, indem gewöhnlich die letzten gebildeten Teile der hellen Schicht am dicksten sind, weil die Schalengröße immer langsamer zunimmt und daher der Muskel immer längere Zeit auf der gleichen Stelle verweilt.

Anders wie bei dem großen hinteren Schließmuskel liegen die Dinge bei dem kleinen vorderen (*vS*, Textfig. Q—S). Er nimmt zwar mit dem Wachstum des Tieres an Umfang zu, verbleibt aber an seiner ursprünglichen Ansatzstelle im spitzen Schalenende. Seine helle Schicht liegt daher nicht außerhalb des Muskelansatzes frei, kann also auch nicht nachträglich verdickt werden. Sie ist von sehr geringer Mächtigkeit, zeigt aber den gleichen säuligen Aufbau. —

Schon die Betrachtung der im Flächenbild sichtbaren Kristallformen hatte uns wahrscheinlich gemacht, daß der Kalk in der hellen Schicht als Aragonit vorliegt. Die Prüfung isolierter Stücke der hellen Schicht mit der Meigen'schen Kobaltnitratreaktion sprach im gleichen Sinne (Lilafärbung der gepulverten Masse nach kurzem Aufkochen).

Das Gleiche lehrt die Untersuchung dünner Flachschliffe im konvergenten polarisierten Licht: sie ergeben ein zweiachsiges Bild. Daraus ist auch zu entnehmen, daß die erste Mittellinie senkrecht zur Ebene der hellen Schicht steht. Beim Verschieben des Schliffes bleibt die Stellung der Achsenebene meist unverändert, so daß auch die optische Normale (𝔟) und die zweite Mittellinie (𝔠) über größere Abschnitte der hellen Schicht hin parallel gerichtet sind.

Dem entsprechen auch die orthoskopischen Feststellungen. Zwar löschen unter keinem Azimut Flachschliffe zwischen gekreuzten Nicols vollkommen aus, doch lassen sich leicht die Stellungen größter und kleinster Helligkeit ausfindig machen und ihr Zusammenhang zu den beobachteten Kristallformen dartun. Im Querschliff ist die Erscheinung der gleichmäßigen Auslöschung noch viel auffälliger; nicht nur die einzelnen Säulen sondern auch größere Abschnitte der hellen Schicht geben fast vollkommene Auslöschung parallel der Säulenachse; nur hier und da treten Unregelmäßigkeiten auf. Isolierte Säulen zeigen öfter in polarisiertem Licht an ungleichmäßiger Auslöschung ihre zusammengesetzte Natur. Gemäß Prüfung über der Gipsplatte Rot I. O geht die Schwingungsrichtung der schneller sich fortpflanzenden Welle mit der Säulenachse parallel. Besonders beachtenswert ist, daß die helle Schicht und die unter ihr gelegene Perlmutterlage

gleichzeitig auslöschen, somit übereinstimmende optische Orientierung besitzen.

Die aus der Form der Kristalle und den optischen Erscheinungen gewonnenen Ergebnisse finden ihre Bestätigung durch Ätzversuche auf Flächenschliffen. Von den benutzten Säuren, verdünnte Salzsäure, verdünnte Essigsäure und konzentrierte Ameisensäure, gab die letzte den besten Erfolg. Die so erhaltenen Ätzgruben, zu deren genauerer Untersuchung etwa 300fache Vergrößerung nötig ist (Fig. 57, Taf. 5), sind schlanke, strich-, spindel- bis rhombische Gestalten, deren Längsrichtung in die Brachydiagonale fällt, wie sich nicht nur durch optische Prüfung (Streifungsrichtungen senkrecht zur Achsenebene) sondern auch unmittelbar durch die Beobachtung der Ätzfiguren auf typisch ausgebildeten Kristallen erkennen ließ. Nun hat v. Ebner (1885, p. 45) auf der Basis des Aragonits nach längerer Ätzung mit konzentrierter Ameisensäure in der Richtung der Brachydiagonale stark verlängerte Sechsecke erhalten. Diese Ätzgruben liegen offenbar auch in meinen Präparaten vor; nur daß die beiden dem langen Durchmesser der Sechsecke parallelen Seiten nicht deutlich zur Ausbildung kamen oder infolge der Kleinheit der Figuren nicht kenntlich waren. So werden aus den schlanken Sechsecken mit wechselnden Winkeln spindel- ja strichartige Ätzfiguren (Fig. 58, Taf. 5). Bei längerem Ätzen fließen die Figuren zu einer Streifung zusammen, die mit der Brachydiagonalenrichtung übereinfällt. So erwiesen denn auch die Ätzfiguren die Bauelemente der hellen Schicht als Aragonitkristalle, deren Basis in der natürlichen Schalenfläche zutage tritt.

Unverständlich bleibt mir die Angabe Karny's (s. o.), daß der Längsdurchmesser der von ihm (angeblich auf Perlmutter bei *Pinna*) beobachteten Ätzfiguren parallel der Makrodiagonale gehen soll. Meine Beobachtungen waren abgeschlossen, bevor ich Karny's Arbeit kennen lernte; nach ihrer Einsichtnahme habe ich meine Feststellungen nochmals nachgeprüft und richtig befunden.

Im allgemeinen stehen die Ätzfiguren auf ein und demselben Feldchen parallel zueinander (vgl. Fig. 58, Taf. 5) und bekunden damit seinen Charakter als eines einheitlichen Kristalls oder als Gruppe von parallel verwachsenen Individuen. An anderen Stellen der hellen Schicht (Fig. 57, Taf. 5) aber sieht man auf dem gleichen Felde Gruppen von Ätzfiguren, in deren jeder Parallelität der Gestalten herrscht, deren Streifungsrichtung gegeneinander aber

verschiedene Winkel einhält; an der Grenze solcher Gruppen erscheinen oft geknickte Ätzfiguren (Fig. 57, Taf. 5). Hier handelt es sich also um nicht parallele Verwachsung der Individuen eines Säulchens, oft wohl um Zwillingsverwachsung, bei der die Prismenfläche die Zwillingsebene abgibt.

Faßt man die Lage der Ätzfiguren auf einer größeren Anzahl von Feldern ins Auge, so läßt sich gewöhnlich die Übereinstimmung der Streifungsrichtung in bezug auf ein weiteres Schalengebiet feststellen, was in Fig. 58 (Taf. 5) sehr klar, weniger ausgesprochen in Fig. 57 (Taf. 5) zutage tritt. Ein derartiges, auf der Ausrichtung von Brachy- und Makroachse beruhendes Verhalten, kann nach den optischen Feststellungen (einheitliche Lage der Achsenebene, Gleichmäßigkeit der Auslöschung im Flachschliff) nicht überraschen.

Gemäß Kristallform, Ätzfiguren, optischem Verhalten und MEIGEN'scher Reaktion erwies sich die helle Schicht von *Pinna* als Aragonit. Aber nicht nur in diesem allgemeinen Charakter stimmt sie mit der Perlmutterlage überein, sondern im einzelnen, auch darin, daß die optische Orientierung ihrer Bauelemente in bezug auf die Schale vollkommen dieselbe ist wie bei den Perlmutterblättchen: die I. Mittellinie steht senkrecht zur Fläche der hellen Schicht, die II. Mittellinie und die optische Normale liegen in den verschiedenen Bausteinen parallel ausgerichtet in ihr, und die Beobachtung des Grenzgebietes von heller Schicht und Perlmutter lehrt, daß die Stellung der Achsenebene in beiden die gleiche ist. Somit unterscheiden sich helle Schicht und Perlmutter kristallographisch nur durch die Form der Aragonitkristalle; sie sind hier tafelig, dort stengelig ausgebildet.

Durch diesen Unterschied der Kristalltracht erklären sich einige Eigentümlichkeiten der hellen Schicht gegenüber der Perlmutter. So ist die hohe Durchsichtigkeit bei gleicher Schichtdicke, wie sie vor allem am Querschliff der Schale sich so auffallend bemerkbar macht, eine Folge der bedeutenderen Größe der Bauelemente. Auch jedes Perlmutterblättchen ist als Aragonitkristall vollkommen durchsichtig, wie isolierte Blättchen erkennen lassen. Aber durch die Verkittung der einzelnen mit Conchin ist Perlmutter im ganzen optisch inhomogen; an den Grenzflächen der einzelnen Blättchen wird das durchfallende Licht zum Teil reflektiert, zerstreut und geschwächt, so daß Perlmutter mit zunehmender Dicke

schließlich ganz undurchsichtig wird. Je größer die Bauelemente, um so spärlicher wird die Gelegenheit zu derartigen Reflexionen sein, und daraus ergibt sich die höhere Durchsichtigkeit der hellen Schicht. Mit der Größe der kristallinischen Bauelemente nimmt auch die Menge der organischen Substanz ab, was wiederum der Durchsichtigkeit zugute kommt.

Aus dem vorhin Gesagten erhellt, daß die Ähnlichkeit der Säulen der hellen Schicht mit den Prismen eine rein äußerliche ist; denn jedes der letzten entspricht bei *Pinna* einem Kalkspatindividuum.

So kann man denn die helle Schicht als eine Abart der Perlmutter bezeichnen, deren Entstehung durch das Ansetzen von Muskeln an der Perlmutterlage hervorgerufen wird. Wie der ursächliche Zusammenhang im einzelnen ist, mag unentschieden bleiben, wenngleich es nahe liegt, in dem Muskelzug den Faktor zu erblicken, der die tafeligen Perlmutterkristalle säulig auswachsen läßt. Jedenfalls erscheint es mechanisch vorteilhafter, wenn an Stelle der zahlreichen in der Zugrichtung der Muskelfasern vielfach übereinander geschichteten tafeligen Kristalle einheitliche Kristallgebilde für den Muskelansatz auftreten, deren Längsrichtung mit dem Muskelzug übereinfällt. Auch möchte man vermuten, daß ständig neu ausfallende tafelige Kristalle unter der Wirkung des Muskelzuges nicht imstande wären, auf der Schalenfläche sich fest anzusetzen.

Wenn aber die helle Schicht eine Abart der Perlmutter ist, dann liegt kein Grund vor, eine wesentlich andere Art ihrer Entstehung anzunehmen als bei jener, und so dürfte denn hier von einer Umwandlung des distalen Teiles der Mantelepithelzellen in Schalenmasse ebensowenig die Rede sein wie bei der Perlmutterbildung. Vielmehr spricht alles dafür, daß die helle Schicht durch einen Kristallisationsprozeß in einem ungeformten Sekret außerhalb der Zellen zustande kommt. Nur in diesem Sinne scheint mir auch die Tatsache deutbar, daß die helle Schicht, nachdem sie die Berührung mit dem Muskel verloren hat, zunächst in ihrer typischen Form, d. h. unter Verlängerung ihrer Säulen, weiterwächst (s. S. 126). Da dieses Weiterwachsen sich nunmehr vollzieht, ohne daß das Epithel der wachsenden Fläche so innig anhaftet, so ist ein derartiges Wachsen auch wohl anzunehmen, solange der Muskel durch Vermittelung des Epithels ansetzt.

2. Die helle Schicht von *Meleagrina*.

Die folgenden Ausführungen über die helle Schicht bei *Meleagrina* tun dar, daß die Beobachtungen bei *Pinna* im großen und ganzen verallgemeinerungsfähig sind. Zwar läßt sich *Meleagrina* an Gunst der Untersuchungsmöglichkeiten nicht *Pinna* vergleichen. Denn obwohl der Abdruck des (hinteren) Schließmuskels bei großen Stücken fast 5 cm im Durchmesser erreicht und die Dicke der hellen Schicht hier mehr als 0,5 mm beträgt, so ist es doch schwer, von ihr dünnere Flachschliffe zu erhalten. Die Masse der hellen Schicht bricht nämlich sehr leicht auseinander. So war es mir nicht möglich, gute Achsenbilder zu gewinnen (s. aber Neumann), auch die Gleichmäßigkeit der Auslöschung in Flächenansicht trat nur angedeutet hervor. Hinsichtlich des mineralogischen Charakters der Kalkmasse war ich daher einzig auf die Meigen'sche Reaktion angewiesen, die an Stücken, welche durch Absprengen oder Abschleifen von der Perlmutter isoliert waren, deutlich für Aragonit ausfiel.



Fig. U. *Meleagrina margaritifera*. 180 : 1.
Flächenansicht der hellen Schicht. Opakilluminatoraufnahme von E. Leitz-Wetzlar.

Unter dem Binokularmikroskop zeigt die natürliche Oberfläche der hellen Schicht ein feinkörnig rauhes, leicht glitzerndes Aussehen; die für die Perlmutter charakteristische Maserung und der lebhafte Glanz fehlen ihr. Bei stärkeren Vergrößerungen tritt auf der Oberfläche eine netzartige Zeichnung hervor (Textfig. U). Erst nach kurzem Ätzen der Oberfläche mit Säure erscheint ein Bild, das mehr an das bei *Pinna* geschilderte erinnert, indem zahlreiche unregelmäßig vieleckige Feldchen von sehr verschiedener Größe sichtbar werden. An einem Präparat, das ich von der Perlmutterseite her genügend abgeschliffen hatte (Fig. 59, Taf. 5), waren die Feldchen teils hell, teils dunkel, wobei die dunklen entweder zerstreut oder zu größeren Gruppen vereint erschienen, ja stellenweise ausgedehnte,

zackig umrandete Flächen einnahmen. Das Bild erinnert sehr an das bekannte Verhalten der „hellen" und „dunklen" Prismen und findet in gleicher Weise seine Erklärung, wie sich aus der Betrachtung von Querschliffen ergibt.



Fig. V. *Meleagrina margaritifera.* 11 : 1.
Querschliff durch die helle Schicht (dunkel dargestellt) und die angrenzenden Teile der Perlmutter. Auskeilende Lagen der hellen Schicht.

Bei *Meleagrina* wird, wie es die Regel ist, der vom Muskel freigegebene Teil der hellen Schicht sogleich von Perlmutter überwallt (Textfig. V). Doch erfolgt die Auflagerung der Perlmutter nicht ohne gewisse Schwankungen, da sich von der hellen Schicht aus zwischen die angrenzende Perlmutter, sowohl die „hängende" wie die „liegende", feine, allmählich auskeilende Lamellen einschieben (Textfig. V). Hier hat also die Bildung von Perlmutter und heller Schicht abgewechselt, ähnlich wie am Rande der Schale, im Gebiet der auskeilenden Prismenlage, die Erzeugung von Perlmutter und Prismen. Man wird daraus wohl schließen dürfen, daß der Muskel bei seiner, im allgemeinen zur Schalenperipherie gerichteten Wanderung [1]) gelegentlich kleine, rückschreitende Bewegungen macht.

Im Querschliff ist die helle Schicht sehr durchsichtig im Vergleich zur Perlmutter und horizontal und vertikal gestreift (Fig. 60, Taf. 5). Durch die horizontale Wachstumschichtung wird sie in zahlreiche dicke und dünne Unterabteilungen gegliedert. Die vertikale Streifung entspricht der Flächenfelderung und bringt die Zusammensetzung der hellen Schicht aus stengeligen

1) Bekanntlich nimmt man an, diese „Wanderung" des Muskels erfolge derart, daß an der vorrückenden Seite neue Fasern gebildet, an der entgegengesetzten alte resorbiert werden, so daß die Hauptmenge der Muskelfasern dauernd arbeitsfähig und an den Schalen wohl befestigt ist.

Kristallen und Aggregaten von solchen zum Ausdruck (s. u.), die durch die ganze Dicke der Lage hindurchreichen. Auch hier verursacht das Schleifen (ähnlich wie bei *Pinna* aber im Gegensatz zu den Spaltflächen in der Prismenlage) unregelmäßige Sprünge und Splitterungen, auf deren Wiedergabe in der Abbildung verzichtet wurde.

Fast überall im basalen Teil, hier und da aber auch im oberen, dem Schaleninnern zugekehrten Abschnitt der hellen Lage, erfährt die Vertikalstreifung eine Störung durch Einschaltung von spitz auskeilenden Elementarteilen, die häufig zu kegelförmigen Aggregaten gruppiert sind (Fig. 60, Taf. 4). Bald reichen sie nur wenig, bald aber weit über die Mitte in das Innere der hellen Schicht hinein. So kommt am basalen Rand ein sehr eigenartiges Bild zustande, das an einen Wald von schlanken gotischen Säulen erinnert. Die auskeilenden Säulchen, die von oben her in die Schicht hineinragen, sind meist zu kürzeren und gedrungeneren Kegeln geordnet.

Diese kegelartigen Anordnungen bedingen den Unterschied der hellen und dunklen Felder in Flächenansicht (s. o.) ähnlich wie die auskeilenden Prismen, indem das durchfallende Licht an ihrer Abschrägung mehr oder minder reflektiert wird. Da die meisten Kegel mit ihrer Basis von der unteren Fläche der hellen Schicht ausgehen, ist es verständlich, daß die dunklen Felder bei Betrachtung der hellen Schicht von der Unterseite her öfter wahrzunehmen sind, als bei umgekehrter Lage des Schliffes.

Im polarisierten Licht gibt der Querschliff der hellen Schicht sehr gleichmäßige Auslöschung, wenn man von den auskeilenden Elementen, insbesondere ihren kegelförmigen Gruppen absieht; gerade sie treten bei maximaler Auslöschung auffällig hervor. Die Schwingungsrichtungen liegen parallel und senkrecht zur Säulchenachse.

Durch Mazeration mit Kalilauge lassen sich die Bauelemente der hellen Schicht isolieren. Allerdings macht man auch hier die Erfahrung, daß die Isolation nicht so leicht wie in der echten Prismenschicht vor sich geht. Insbesondere bleiben die Kegel öfter als Ganzes erhalten (Fig. 61, Taf. 4) und geben deutlicher noch als auf Querschliffen ihre Zusammensetzung aus einseitig oder beidseitig auskeilenden Stäbchen zu erkennen. Auch die Wachstumsschichtung bewahren die isolierten Kegel. Einzelne Stäbchen in der vollen Länge (entsprechend der Dicke der hellen Schicht) zu isolieren gelingt nicht; sie zerbrechen zu leicht. Aber immerhin läßt sich fest-

stellen, daß sie von sehr verschiedener Dicke, unregelmäßig facettiert und nicht selten leicht gebogen sind (Fig. 62, Taf. 5). Das Verhalten der isolierten Elemente im polarisierten Licht entspricht durchaus dem des Querschliffes. (Auslöschung || und ⊥ Längsachse, Schwingungsrichtung der Welle mit größerer Lichtgeschwindigkeit parallel zur Längsachse.)

Halten wir unsere Befunde bei *Meleagrina* mit denen von *Pinna* zusammen, so kommen wir auch hier zur Deutung, daß die helle Schicht aus stengeligen Aragonitkristallen besteht, deren I. Mittellinie senkrecht zur Fläche orientiert ist; die Ausrichtung der in der Fläche gelegenen kristallographischen Achsen konnte nur andeutungsweise erkannt werden infolge der Ungunst der Präparate. —

Daher ist wohl die allgemeine Auffassung gerechtfertigt, daß die helle Schicht eine Abart der Perlmuttermasse darstellt, die sich von ihr durch die Ausbildung stengeliger Kristalle unterscheidet. Wenn auch damit ein typisches Merkmal der Perlmutter, die ausgesprochene Lamellierung in Elementarschichten, verloren geht, so berechtigt das doch kaum, die helle Schicht als eine vierte Schalensubstanz, gleichberechtigt neben Periostracum, Prismen und Perlmutter zu stellen. Diese drei Schalensubstanzen unterscheiden sich in der Tat von Grund auf, die helle Schicht dagegen hat mit der Perlmutterlage mancherlei wesentliche Merkmale gemein.

C. Einige Bemerkungen über die „Schalenbandwallsubstanz" von *Mytilus*.

a) Historisches.

Wie zuerst v. Nathusius-Königsborn (1877, p. 67f.) beschrieben hat, macht sich auf der Innenseite der *Mytilus*-Schale dem Ligament entlang ein schmaler Streifen einer eigentümlichen Substanz bemerkbar, die eine Anzahl von Gruben enthält. Diese „Schalenbandwälle" zeigten auf dem Querschliff in verschiedener Richtung durcheinander geschobene Prismen und eine Schichtung parallel der Außenfläche. Zahlreiche Kanäle durchbrechen teils regelmäßig nebeneinander verlaufend, teils in mannigfachen Windungen und Verzweigungen die Substanz des Walles. Obwohl nach der Entkalkung ein beträchtlicher, aber doch ziemlich formloser Conchinrückstand hinterblieb, möchte der Autor es doch für unwahrscheinlich halten, wenn man sich den Inhalt der Septen lediglich aus

Kalksalzen bestehend dächte. Durch die Kanälchen erhält das Conchingerüst der Schalenbandwälle vaskulösen Charakter.

Tullberg (1882, p. 18—19) bestätigt, daß die Substanz der Schalenbandwälle dicht von Kanälen durchzogen ist, und läßt sie aus einer Art unregelmäßiger Stäbchen bestehen, die entkalkt sich in der Längsrichtung und damit auch in derjenigen der Kanäle, nicht aber entsprechend der Schichtung spalten lassen.

Ehrenbaum (1885, p. 15) findet ebenfalls bei *Mytilus* prismatisches Gefüge und lamelläre Anordnung der Schalenbandwallsubstanz. Die Prismen erscheinen aus wellig gebogenen, selten geradlinigen Fasern zusammengesetzt. Die prismatische Gliederung soll wesentlich durch ein System feiner Röhrchen bedingt sein, die auf Flachschliffen mit größter Deutlichkeit sichtbar sind. Auch bei *Cyprina* (p. 17) und *Tellina* (p. 28) beobachtete Ehrenbaum Schalenbandwälle von nadeliger Struktur.

List (1902, p. 73) erwähnt von den „inneren Schloßbandleisten" bei *Mytilus galloprovincialis*, ihre einzelnen Elemente seien viel breiter als die Nadeln oder Prismen der Prismenschicht und ließen bei Behandlung mit Säure eine ähnlich geformte organische Hülle zurück. Das bei dieser Art stark entwickelte Kanalsystem fehlt bei *Mytilus minimus* (p. 76), ebenso bei *Lithophagus lithophagus* (p. 78). Wenn ich List recht verstehe, so betrachtet er die Kanäle als von Algen erzeugt.

b) Eigene Untersuchungen.

Ich untersuchte einige Präparate von *Mytilus edulis* und *M. smaragdinus* und finde im allgemeinen die Angaben der bisherigen Beobachter bestätigt; doch kann ich einige weitergehende Mitteilungen über die kristallinische Beschaffenheit des Kalkes machen.

Am einfachsten boten sich die Verhältnisse auf dem Querschliff durch die Schalenbandwallsubstanz von *Mytilus smaragdinus* dar (Fig. 63, Taf. 5). Neben einer ziemlich undeutlichen Wachstumsschichtung parallel zur Oberfläche erscheint eine feine annähernd senkrecht zu dieser verlaufende Streifung. Prüft man einen derartigen Schliff im polarisierten Licht, so treten entsprechend der genannten Streifung nadelförmige, nicht streng parallel geordnete Kristallindividuen hervor, die auslöschen, wenn ihre Längsrichtung einer Polarisationsebene parallel geht. Doch beruht die vertikale Streifung nicht einzig auf der Anordnung derartig gestalteter Bauelemente, sondern es finden sich auch, mit der Streifungsrichtung im ganzen übereinfallend, feine Kanäle, die zum Teil sehr deutlich durch ihre Lufterfüllung sichtbar werden (Fig. 63, Taf. 5). Die beschriebenen Strukturen zeigen sich überall auf dem Querschliff in gleichbleibender Regelmäßigkeit.

Viel weniger regelmäßig ist die Anordnung der Bauelemente bei *Mytilus edulis*. Auf dem Flachschliff (Fig. 65, Taf. 5) nimmt man im allgemeinen eine etwas verschwommene netzige Felderung wahr; an einzelnen Stellen aber erscheint ein Bild, das dem von *Mytilus smaragdinus* im Querschliff entspricht: nadelige oder stengelige Gebilde, die einigermaßen parallel geordnet sind (Fig. 64, Taf. 5). Ein Vergleich der Dimensionen und Übergänge der beiderlei Strukturbilder lehrt, daß sie als Querschnitt- und Längsansicht aufeinander zu beziehen sind.

Weiter ergibt sich, daß die einzelnen Felder stellenweise unvollkommen voneinander geschieden sind. Dann aber wird das Bild durch die Anwesenheit zahlreicher Kanäle ganz erheblich kompliziert, die sich teils auf der Grenze benachbarter Felder halten, teils aber mitten durch sie hinziehen (s. u.). Am günstigsten für die Untersuchung waren Stellen der Flachschliffe am Rande der Gruben (Fig. 66, Taf. 5), wo die Kanäle verhältnismäßig spärlich, die Feldchen dagegen ziemlich groß werden. Die Grenzen der Feldchen sind teils unregelmäßig, teils aber geradlinig umrissen, wobei hier und da gut ausgeprägte Winkel zutage treten; so unterliegt es keinem Zweifel, daß jedes Feldchen einem Aggregat von Kristallen entspricht, die mehr oder minder regelmäßig und innig verwachsen sind, wie auch benachbarte Feldchen bald lockerer bald fester zusammenhängen. Obwohl solche Stellen nur ein undeutliches Achsenbild ergaben, über dessen ein- oder zweiachsige Natur ich nicht zu einem Entscheid kommen konnte, auch eine Prüfung des mineralogischen Charakters der Schalenbandwallsubstanz mit der Meigen'schen Reaktion nicht anging, weil sie nicht hinreichend sauber von Perlmutter zu isolieren war, glaube ich doch, daß es sich um Aragonit handelt. Denn den für das rhombische Prisma charakteristischen Winkel von 116° konnte ich mehrfach mit hinreichender Genauigkeit messen und es traten auch Gestalten auf, die unverkennbar die Kombination des rhombischen Prismas mit der Längsfläche darstellen (vgl. Fig. 66, Taf. 5).

Am Rande der Gruben scheidet sich der Kalk öfter sphärokristallinisch aus; doch bleiben die einzelnen Sphäriten unvollkommen ausgebildet, da sie sich gegenseitig im Wachstum beschränkten (Fig. 67, Taf. 5). Da auch die vorher genannten Aggregate von Aragonitkristallen, dort wo sie an der Wand der Gruben freiliegen, abgerundete Umrisse zeigen, sind starke Vergrößerungen und

günstige Stellen der Schliffe nötig, um die beiderlei wesentlich verschiedenen Bildungen sicher unterscheiden zu können.

Über die Natur der Kanäle wage ich kein Urteil. Wie man aus Fig. 66 (Taf. 5) ersieht, treten sie mitten in den kristallinischen Massen auf und können sich dann verzweigen. Am nächsten liegt wohl die Annahme, daß es sich um pflanzliche Organismen handelt, die sich in der fertigen Kalkmasse angesiedelt haben. Doch wäre immerhin das Auftreten fädiger Bildungen aus Conchin, die von den sich ausscheidenden Kristallen umwachsen werden, nicht auszuschließen.

Wie in der Perlmuttermasse und der hellen Schicht so liegt auch in der Schalenbandwallsubstanz von *Mytilus* der Kalk kristallisiert vor und hier wie dort bestimmt die Form der kristallinischen Bestandteile die Strukturen, wenn man von den noch nicht genügend aufgeklärten Kanälen absieht.

Literaturverzeichnis.

Biedermann, W., 1901, Untersuchungen über Bau und Entstehung der Molluskenschalen, in: Jena. Ztschr. Naturw., Vol. 36, p. 1—164, tab. I—VI, 1902.

—, 1902, Über die Bedeutung von Kristallisationsprozessen bei der Bildung der Skelette wirbelloser Tiere, namentlich der Molluskenschalen, in: Ztschr. allg. Physiol., Vol. I, 1902, p. 154—208, tab. III—VI.

—, 1914, Physiologie der Stütz- und Bindesubstanzen, in: Winterstein, Handb. vergl. Physiol., Vol. 3, Jena.

Bowerbank, J. S., 1844, On the structure of the shells of molluscous and conchiferous animals, in: Trans. microscop. soc. London, Vol. 1, p. 123—154, pl. XIV—XVIII.

Brewster, D., 1813, On new properties of light exhibited in the optical phenomena of mother of pearl, and other bodies to which the superficial structure of that substance can be communicated, in: Philos. Trans. 1814, p. 397—418, pl. XIV.

Brück, A., 1913, Über die Muskelstruktur und ihre Entstehung sowie über die Verbindung der Muskeln mit der Schale bei den Muscheln, in: Zool. Anz., Jg. 42, p. 7—18.

Bütschli, O., 1901, Referat über W. Biedermann, Untersuchungen über Bau und Entstehung der Molluskenschalen, in: Zool. Ztrbl., Jg. 8, p. 757—763.

—, 1908, Untersuchungen über organische Kalkgebilde nebst Bemerkungen über organische Kieselgebilde insbesondere über das spezifische Gewicht in Beziehung zu der Struktur, die chemische Zusammensetzung und Anderes, in: Abh. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., N. F. Vol. 6, p. 1—175, tab. I—IV.

CARPENTER, W. B., 1843, General results of microscopical inquiries into the minuts structure of the skeletons of Mollusca, Crustacea and Echinodermata, in: Ann. Mag. Nat. Hist., Vol. 12, p. 377—390, pl. XIII—XIV.

—, 1844, On the microscopic structure of shells, in: Rep. Brit. Assoc., 1844, p. 1—24, pl. I—XX.

—, 1847, Report on the microscope structure of shells, Part II, ibid., 1847, p. 13—135, pl. I—XX.

—, 1849, Artikel „Shell“ in: The cyclopaedia of anatomy and physioloy, Vol. 4, London 1852.

DIPPEL, L., 1900, Einrichtung des gewöhnlichen Arbeitsmikroskops zur Beobachtung der Achsenbilder doppelt brechender Körper, in: Ztschr. wiss. Mikr., Vol. 18, p. 145—155.

v. EBNER, V., 1885, Die Lösungsflächen des Kalkspathes und des Aragonites II. Die Ätzfiguren des Kalkspathes, III. Die Lösungsflächen des Aragonites, in: SB. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., Vol. 91, Abt. II, p. 1—76, tab. I—VI.

EHRENBAUM, 1885, Untersuchungen über die Struktur und Bildung der Schale der in der Kieler Bucht häufig vorkommenden Muscheln, in: Ztschr. wiss. Zool., Vol. 41, p. 1—47, tab. I u. II.

v. GÜMBEL, 1884, Über die Beschaffenheit der Molluskenschalen, in: Ztschr. deutsch. geol. Ges., Vol. 36, p. 386—398.

HATCHELT, CH., 1799, Experiments and observations on shell and bone, in: Philos. Trans., 1799, p. 315—334.

HERBERS, K., 1913, Entwicklungsgeschichte von Anodonta cellensis SCHRÖTER, in: Ztschr. wiss. Zool., Vol. 108, p. 1—174.

HERDMANN, W. A., 1904, Anatomy of the pearl oyster, in: Rep. pearl oyster fisheries gulf of Manaar, Part II, London, p. 35—76, pl. I—IX.

HERSCHEL, J. F. W., 1820, On certain optical phenomena exhibited by mother-of-pearl, depending on its internal structure, in: Edinbourgh. Philos. Journ., Vol. II, p. 114—121, pl. III.

v. HESSLING, TH., 1859, Die Perlmuscheln und ihre Perlen, Leipzig 1859.

JACKSON, R. T., 1890, Phylogenie of the pelecypoda, in: Mem. Boston soc. nat. hist., Vol. 4, 1886—1893, p. 227—400, pl. XXIII—XXX.

JAMESON, H. L., 1912, Studies on pearl-oysters and pearls. I. The structure of the shell and pearls of the Ceylon pearl-oyster (Margaritifera vulgaris SCHUMACHER). With an examination of the cestode theory of pearl production, in: Proc. Zool. Soc. London, p. 260—358, pl. XXXIII—XLVII.

KARNY, H., 1913, Optische Untersuchungen zur Aufklärung der Struktur der Muschelschalen, I. Aviculidae, II. Unionidae, in: SB. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., Vol. 122, Abt. III, p. 207—259.

Kelly, A., 1900, Über Conchit, eine neue Modifikation des kohlensauren Kalkes, in: SB. Bayer. Akad. Wiss., math.-physikal. Kl., Vol. 30, p. 187—194.

—, 1901, Beiträge zur mineralogischen Kenntnis der Kalkausscheidungen im Tierreich, in: Jena. Ztschr., Vol. 35, 1901, p. 429—414, tab. XV.

Korschelt, E., 1912, Perlen, Altes und Neues über ihre Struktur, Herkunft und Verwertung, in: Fortschr. naturw. Forschung.

Leduc, St., 1912, Das Leben in seinem physikalisch chemischen Zusammenhang, übersetzt von A. Gradenwitz, Halle.

Lehmann, O., 1911, Die neue Welt der flüssigen Kristalle, Leipzig 1911.

Leydolt, 1856, Über die Struktur und Zusammensetzung des prismatischen Kalkhaloides nebst einem Anhange über die Struktur der kalkigen Teile einiger wirbellosen Thiere. Mit IX Tafeln, in: SB. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., Vol. 19, p. 10—32.

Lindsay, B., 1912, Some Observations on boring mollusca, in: Rep. Brit. Assoc. Adv. Sc., p. 516.

List, Th., 1902, Die Mytiliden, in: Fauna und Flora des Golfes von Neapel, Berlin 1902.

Möbius, K., 1858, Die echten Perlen. Ein Beitrag zur Luxus-, Handels- und Naturgeschichte derselben, in: Abh. naturw. Ver. Hamburg, Vol. 4, 84 p., 1 tab.

Moyniez de Villepoix, R., 1892, Recherches sur la formation et l'acroissement de la coquille des mollusques, in: Journ. anat. physiol., Jg. 28, p. 461—518, 582—674, pl. XIX—XX u. XXII—XXIII.

Müller, F., 1885, Über die Schalenbildung bei Lamellibranchiern, in: A. Schneider, Zool. Beitr., Vol. 1, p. 206—241, tab. XXVIII—XXX.

v. Nathusius-Königsborn, W., 1877, Untersuchungen über nicht celluläre Organismen, namentlich Crustaceenpanzer, Molluskenschalen und Eihüllen. Mit 16 lithogr. Tafeln, Berlin.

Neumann, P., Über die optischen Erscheinungen der Perlmutter. Marburger Philos. Diss.

Rassbach, R., 1912, Beiträge zur Kenntnis der Schale und Schalenregeneration von Anodonta cellensis Schröt., in: Ztschr. wiss. Zool., Vol. 102, p. 363—447.

Römer, O., 1903, Untersuchungen über den feineren Bau einiger Muschelschalen, ibid., Vol. 75, p. 437—472, tab. XXX—XXXII.

Rose, G., 1858, Über die heteromorphen Zustände der kohlensauren Kalkerde. II. Vorkommen des Aragonits und Kalkspaths in der organischen Natur, in: Abh. Akad. Wiss. Berlin, p. 63—111, tab. I—III.

Rubbel, A., 1912, Über Perlen und Perlbildung bei Margaritana margaritifera nebst Beiträgen zur Kenntnis der Schalenstruktur, in: Zool. Jahrb., Vol. 32, p. 287—366, tab. 17—18.

Schmidt, O., 1845, Zur vergleichenden Physiologie der wirbellosen Tiere, Braunschweig.

Schmidt, W. J., 1921, Ergebnisse einer Untersuchung über Bau und Bildung der Perlmuttermasse, in: Biol. Ztrbl., Vol. 41, p. 250.

—, 1921, Einige Ergebnisse einer Untersuchung über den kristallographischen Charakter der Prismen in den Muschelschalen, ibid., p. 134.

—, 1921, Über den kristallographischen Charakter der Prismen in den Muschelschalen, in: Ztschr. allg. Physiol., Vol. 19, p. 191.

Schwitzer, H., 1919, Über Perlmutter, in: Abh. Ber. 55 Ver. Naturk. Cassel, S. 189—217.

Siebert, W., 1913, Das Körperepithel von Anodonta cellensis, in: Ztschr. wiss. Zool., Vol. 106, 1913, p. 449—526.

Sorby, H. C., 1879, On the structure and origin of limestones, in: Proc. Geol. Soc., Session 1878—1879, p. 56—95 (The anniversary adress of the president).

Stempell, W., 1900, Über die Bildungsweise und das Wachstum der Muschel- und Schneckenschalen, in: Biol. Ztrbl., Vol. 20, 1900, p. 595—606, 637—644, 665—680, 698—703, 731—741. (Hier sehr ausführliches Literaturverzeichnis.)

Thiele, J., 1893, Beiträge zur Kenntnis der Mollusken. II. Über die Molluskenschale, in: Ztschr. wiss. Zool., Vol. 55, p. 220—251, tab. XI.

Tullberg, T., 1882, Studien über den Bau und das Wachstum des Hummerpanzers und der Molluskenschalen, in: Svensk. Vet. Akad. Handl., Vol. 19, No. 3.

Valentin, G., 1861, Die Untersuchung der Pflanzen- und der Thiergewebe in polarisiertem Lichte, Leipzig.

Erklärung der Abbildungen.

Alle Abbildungen sind mit Hilfe des Abbe'schen Zeichenapparates hergestellt (Entfernung der Zeichenfläche von der Austrittspupille des Mikroskops = 250 mm).

Tafel 1.

Verhalten der wachsenden Perlmutterfläche.

Alle Abbildungen stellen die freie, natürliche Innenfläche der Perlmutterlage dar und sind nach Dünnschliffen hergestellt, die teils lufttrocken, teils in Balsam (bzw. Glyzerin-Gelatine) eingebettet, untersucht wurden.

Fig. 1. *Barbula plicatula.* Wachstumszonen, zum Teil sich miteinander vereinigend; am Rande der Elementarlamellen ihre Zusammensetzung aus Perlmutterblättchen — Flächenfelderung — kenntlich. Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 12. 375 : 1.

Fig. 2. *Meleagrina margaritifera.* Wachstumszonen. Anlage und Verschmelzen der Perlmutterblättchen am freien Rand der Elementarlamellen; Reihenstreifung. Lücken in den Elementarlamellen. Balsam. ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 8. 250 : 1.

Fig. 3. *Nucula nucleus.* Aufbau einer Elementarlamelle: rundlich-polygonale Perlmutterblättchen in den verschiedensten Größen, schrittweise zu einer Elementarlamelle miteinander verschmelzend, in der zunächst noch Lücken (oben links, rechts) offen bleiben. Glyzerin-Gelatine. ZEISS Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

Fig. 4. *Margaritana margaritifera.* Aufbau der Elementarlamellen aus Perlmutterblättchen. Balsam. Optik wie bei Fig. 3. 1000 : 1.

Fig. 5. *Pinna nobilis.* Wachstumszonen nahe dem Rande der auslaufenden Perlmutterlage: rechteckige in Bildung begriffene Perlmutterblättchen (Kristallform = Basis × Längsfläche × Querfläche) parallel gestellt. Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 8. 250 : 1.

Fig. 6. *Pinna inflata.* Auf einer Elementarlamelle, die noch große, charakteristisch geformte Lücken enthält, treten zahlreiche neue meist rhombische, parallel gestellte Anlagen von Perlmutterblättchen auf (Kristallform = Basis × Prisma, bzw. Basis × Prisma × Längsfläche). Balsam. ZEISS Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

Fig. 7. *Pinna inflata.* Aufbau der Elementarlamellen aus meist sechseckigen Perlmutterblättchen (Kristallform = Basis × Prisma × Längsfläche). Balsam. Optik wie bei Fig. 6. 1000 : 1.

Fig. 8. *Pinna nobilis.* Parallelstellung und Reihenverschmelzung der rechteckigen Perlmutterblättchen (Kristallform = Basis × Querfläche × Längsfläche). Lufttrocken. ZEISS Apochromat 4 mm und Komp.-Ok. 8. 500 : 1.

Fig. 9. *Meleagrina margaritifera.* Elementarlamelle mit Lücken, die in parallele Reihen geordnet sind; Reihenstreifung. Balsam. ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 8. 250 : 1.

Tafel 2.

Verhalten der Perlmutterlage am Schalenrand und an der Perlmutterprismengrenze.

Die Abbildungen geben entweder die natürliche Innenfläche der Perlmutterlage wieder, dort wo sie, in der Schalenperipherie sich verjüngend, der Prismenschicht Platz macht, oder beziehen sich auf Querschliffe durch die Schale in der gleichen Gegend. Die Präparate der

ersten Art wurden teils lufttrocken, teils in Balsam eingeschlossen untersucht.

Fig. 10. *Anodonta anserina.* Nach links hin auslaufende Perlmutterlage in Flächenansicht. Bildung der ersten Elementarlamelle; Wachstumsmaserung; lufthaltige Stellen der auskeilenden Prismenlagen schimmern als dunkle verzweigte Flecken durch. Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 4. 125 : 1.

Fig. 11. *Anodonta anserina.* Querschliff entsprechend Fig. 13. *pr* Prismen-, *pe* Perlmutterlage; in der letzten mehrere auskeilende Prismenlagen, die stellenweise lufthaltig sind. Balsam. Optik wie bei Fig. 10. 125 : 1.

Fig. 12. *Anodonta anserina.* Innenfläche eines Prismas mit zahlreichen Anlagen von Perlmutterblättchen; die das Prisma umhüllenden Conchinsepten sind verbreitert und lappig ausgezackt. Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 18. 560 : 1.

Fig. 13. *Barbula plicatula.* Nach rechts hin auslaufende Perlmutterlage in Flächenansicht. *a* normale Prismen, *b* Beginn einer auskeilenden Prismenlage, *c* Fortsetzung der letzten Lage in der Tiefe (unter der Perlmutterlage). Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 4. 60 : 1.

Fig. 14. *Barbula plicatula.* Querschliff entsprechend Fig. 16. *pr* Prismen-, *pe* Perlmutterlage, in dieser mehrere auskeilende Prismenlagen; die Abschnitte *a*, *b*, *c* korrespondieren mit den ebenso bezeichneten in Fig. 13. Balsam. Optik wie bei Fig. 13. 60 : 1.

Fig. 15. *Barbula plicatula.* Übergang der normalen Prismen (*a*) in die auskeilende Lage (*b*) in Flächenansicht (Detail zu Fig. 13). Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 18. 280 : 1.

Fig. 16. *Barbula plicatula.* Flächenansicht der auskeilenden Prismenlage (*b*) mit Wachstumslinien, soweit sie der Innenfläche der Schale angehört — und ihr Übergang in die Perlmutterlage (*c*) (Detail zu Fig. 13). Dünnschliff lufttrocken. Optik wie in Fig. 18. 280 : 1.

Fig. 17. *Barbula plicatula.* Anlage der Perlmutterschicht aus einzelnen, bald verschmelzenden Perlmutterblättchen; nach rechts Übergang in die auskeilende Prismenlage. (Ähnliche Stelle wie bei Fig. 16, aber bei stärker Vergrößerung.) Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 18. 560 : 1.

Fig. 18. *Barbula plicatula.* Flächenansicht der Wachstumszonen der auslaufenden Perlmutterlage; in der Tiefe schimmern die Wachstumslinien der auskeilenden Prismenlage durch. Dünnschliff lufttrocken. ZEISS Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 8. 125 : 1.

Fig. 19. *Margaritana margaritifera.* Flächenansicht der (nach rechts hin) auslaufenden Perlmutterschicht. Verbreiterung der Conchinsepten (zwischen den Prismen), die mit lappigen Fortsätzen die Perlmutter-

blättchen umgreifen; erste Elementarlamelle und zwei Wachstumszonen. Dünnschliff. Balsam. Zeiss Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

Fig. 20. *Pinna nobilis* juv. Flächenansicht der (nach rechts hin) auslaufenden Perlmutterschicht. Auftreten isolierter Perlmutterblättchen, allmähliches Verschmelzen derselben zur ersten Elementarlamelle. Anlage einer zweiten Elementarlamelle. Schale lufttrocken untersucht. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 12. 375 : 1.

Fig. 21. *Pinna nobilis* juv. Flächenansicht der Perlmutterlage in einiger Entfernung von dem auslaufenden Rand. Ausbildung der typischen Form der Perlmutterblättchen; in der Tiefe schimmern die Grenzen der Prismen durch. Schale lufttrocken untersucht. Optik wie in Fig. 20. 375 : 1.

Fig. 22. *Pinna nobilis* juv. Flächenansicht der Perlmutterlage in noch etwas größerer Entfernung vom aus laufenden Rande. Verschmelzung der Perlmutterblättchen zu Längsreihen, die durch Furchen geschieden sind, in denen mehrere tiefer gelegene Elementarlamellen zum Vorschein kommen, die sich an den Stellen der Furchen noch nicht geschlossen haben; auf den Längsreihen treten wiederum neue Perlmutterblättchen in Form kleiner Rechtecke auf. Schale lufttrocken untersucht. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 18. 280 : 1.

Fig. 23. *Meleagrina margaritifera.* Flächenansicht der auslaufenden Perlmutterschicht. Große Perlmuttergebilde erscheinen zunächst im Anschluß an die Septen der Prismen (links), dann als geschlossenes Mosaik, das allmählich in die normale Perlmuttermasse übergeht. Dünnschliff. Balsam. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 4. 60 : 1.

Fig. 24. *Meleagrina margaritifera* (kleineres Exemplar aus dem Roten Meer). Flächenansicht des äußersten Randes der auslaufenden Perlmutterlage. Große Perlmuttergebilde, zum Teil frei liegend und dann sechseckig begrenzt; bald nachdem sie sich zum Mosaik vereinigt haben, lassen sie eine zunächst an den Rändern, dann auch auf der Fläche einsetzende Auflösung in Perlmutterblättchen normaler Größe erkennen. Dünnschliff. Balsam. Zeiss Apochromat 4 mm und Komp.-Ok. 8. 500 : 1.

Fig. 25. *Meleagrina margaritifera.* Querschliff durch Prismen- (oben) und auslaufende Perlmutterschicht (unten) (vgl. Fig. 24). Rechts isolierte große Perlmuttergebilde in die Conchinlamelle zwischen zwei Prismen eingebettet; nach links die geschlossene Lage der großen Perlmuttergebilde, zum Teil schon von einer dünnen Schicht normaler Perlmutter überkleidet. Balsam. Optik wie in Fig. 24. 500 : 1.

Fig. 26. *Meleagrina margaritifera.* Querschliff durch den der Prismenschicht zunächst gelegenen Teil der Perlmutterlage. *c* Conchinlamelle an der Unterseite der Prismen; pe_1 große Perlmutterelemente, zum Teil an ihrer Unterseite treppenförmig ausgeschnitten; *pe* normale Perlmuttermasse. Balsam. Zeiss Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

Fig. 27. *Meleagrina margaritifera.* Querschliff durch das Grenzgebiet von Prismen- und Perlmutterlage mit den „Wurzeln“. Von den

Prismen gehen (zwischen den großen, unmittelbar an sie anstoßenden Perlmutterelementen) mit Conchin erfüllte Spalten aus, die sich erweiternd (noch eine Strecke weit in die Perlmuttermasse hinein) fortsetzen; im Conchin (auch in den Septen zwischen den Prismen) zahlreiche Einschlüsse von Gasbläschen. Balsam. ZEISS Apochromat 4 mm und Komp.-Ok. 8. 500 : 1.

Tafel 3.

Formen der Perlmutterblättchen, Strukturen der Perlmuttermasse am Flachschliff und Spaltblättchen.

Fig. 28. *Mytilus edulis* juv. Anlagen von Perlmutterblättchen auf dem Schaleninnern. Kristallform: Basis × Prisma × Längsfläche. Balsam. ZEISS Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 12. 1500 : 1.

Fig. 29. *Mytilus edulis* juv. Anlagen von Perlmutterblättchen wie in Fig. 31 zum Teil miteinander verschmelzend, darunter achteckige Plättchen: Kristallform: Basis × Prisma × Längsfläche × Querfläche. Balsam. Optik wie bei Fig. 28. 1500 : 1.

Fig. 30. *Meleagrina margaritifera*. Anlagen von Perlmutterblättchen auf der wachsenden Fläche, die bis auf einzelne Spalten geschlossen war. Kristallform: Basis × Prisma × Längsfläche (die letzte schwach ausgebildet). Balsam. ZEISS Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

Fig. 31. *Mytilus edulis* juv. Anlagen von Perlmutterblättchen auf dem Schaleninnern. Kristallform: Basis × Prisma × Längsfläche (die letzte stark ausgebildet). Balsam. Optik wie in Fig. 28. 1500 : 1.

Fig. 32. *Pinna nobilis*. Auffallend regellos gestellte Anlagen von Perlmutterblättchen auf der wachsenden Fläche. Kristallform: Basis × Längsfläche × Querfläche. Lufttrocken? ZEISS Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 18. 560 : 1.

Fig. 33. *Pinna nobilis*. Ovale Anlagen von Perlmutterblättchen. Lufttrocken. ZEISS Apochromat 4 mm und Komp.-Ok. 12. 750 : 1.

Fig. 34. *Crenatula undata*. Wachsende Perlmutterfläche; einzelne kleine Anlagen von Perlmutterblättchen auf einer teilweise noch unvollkommen geschlossenen Elementarlamelle, die sehr deutliche Flächenfelderung zeigt. Balsam. ZEISS Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 12. 1500 : 1.

Fig. 35. *Margaritana margaritifera*. Perle. Oberfläche. Unregelmäßig gestaltete Perlmutterblättchen in verschiedenen Größen. Balsam. ZEISS Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

Fig. 36. *Mytilus edulis*. Kalilauge-Spaltblättchen von der Dicke einer Elementarlamelle mit deutlicher Flächenfelderung. Balsam. Optik wie bei Fig. 34. 1500 : 1.

Fig. 37. *Meleagrina margaritifera.* Durch Kalilauge isolierte Perlmutterblättchen und eine noch zusammenhängende Gruppe von solchen; zum Teil lassen sich am Umriß der Blättchen Kristall- und Kontaktflächen unterscheiden. Balsam. Optik wie bei Fig. 34. 1500 : 1.

Fig. 38. *Margaritana margaritifera.* Dickeres Kalilauge-Spaltblättchen. Niveaulinien; Reihenstreifung; lufttrocken. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 8. 250 : 1.

Fig. 39. *Anodonta cellensis.* Dickeres Kalilauge-Spaltblättchen. Unregelmäßige Reihenstreifung. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 12. 375 : 1.

Fig. 40. *Unio sp.* Flachschliff, mit NO_3H geätzt: Flächenfelderung; die einzelnen Perlmutterblättchen durch ein System breiter Furchen getrennt. Balsam. Optik wie bei Fig. 34. 1500 : 1.

Fig. 41. *Pinna nobilis.* Flachschliff, mit HCl geätzt. Flächenfelderung. Balsam. Zeiss Apochromat 2 mm und Komp.-Ok. 4. 500 : 1.

Fig. 42. *Pinna nobilis.* Kalilauge-Spaltblättchen. Reihenstreifung; zwischen den Längsreihen der Perlmutterblättchen lufterfüllte Lücken. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 8. 125 : 1.

Tafel 4.

Querschliffstrukturen der Perlmuttermasse und Perlmutter mit verwickelterem Verlauf der Elementarlamellen (Dünnschliffe in Balsam).

Fig. 43. *Margaritana margaritifera.* Querschliff durch die Perlmutterlage und den anstoßenden Teil der Prismenschicht. Anordnung der Perlmutterblättchen nach Art eines Backsteinbaues. Horizontalschichtung entsprechend den einzelnen Elementarlamellen; senkrechte Querstriche gemäß den seitlichen Grenzen der einzelnen Perlmutterblättchen. Scharfe Grenze zwischen Perlmutter und Prismenschicht. Mit NO_3H geätzt, Balsam. Zeiss Apochromat 2 mm N. A. 1,4 und Komp.-Ok. 8. Ungefähr 1000 : 1.

Fig. 44. *Meleagrina margaritifera.* Querschliff „Backsteinbau". Mit HCl geätzt, Balsam. Zeiss Apochromat 2 mm N. A. 1,40 und Komp.-Ok. 12. Ungefähr 1500 : 1.

Fig. 45. *Margaritana margaritifera.* Querschliff. Treppenförmige Anordnung der Perlmutterblättchen. Mit NO_3H geätzt, Balsam. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 12. 375 : 1.

Fig. 46. *Margaritana margaritifera.* Querschliff. Im oberen Teil dickere, im unteren dünnere Elementarlamellen; auskeilende Elementarlamellen; treppenartige Anordnung der Perlmutterblättchen (besonders im unteren Teil deutlich); einzelne Perlmutterblättchen von unregelmäßigem Querschnitt. Mit NO_3H geätzt, Balsam. Optik wie bei Fig. 44. Ungefähr 1500 : 1.

Fig. 47. *Nucula nucleus.* Querschliff. Vertikalschichtung der Perlmutterblättchen. Mit HCl geätzt, Glyzerin-Gelatine. Zeiss Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

Fig. 48. *Pinna nobilis.* Querschliff. Vertikalschichtung. Perlmutterblättchen gebogen. Balsam. Zeiss Apochromat 2 mm N. A. 1,4 und Komp.-Ok. 8. Ungefähr 1000 : 1.

Fig. 49. *Trigonia pectinata.* Radialer Querschliff (längs den Rippen auf der Außenfläche der Schale) durch die Prismenlage und den anliegenden Teil der Perlmutterschicht. Aufbiegen der Perlmutterlamellen; senkrecht zur Lamellierungsebene; die Vertikalschichtung infolge von Lufteinschlüssen deutlich sichtbar. Balsam. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 8. 125 : 1.

Fig. 50. *Trigonia pectinata.* Tangentialer Querschliff (senkrecht zu den Rippen auf der Außenfläche der Schale) durch die Prismen und den angrenzenden Teil der Perlmutter. Lamellierung der Perlmutter nicht kenntlich; bogig gekrümmter Verlauf der Vertikalschichtung. Balsam. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 4. 62 : 1.

Fig. 51. *Trigonia pectinata.* Flachschliff durch die Perlmuttermasse nahe einer Rippe auf der Außenfläche der Schale. Bogig gekrümmte Säulen der Vertikalschichtung. Balsam. Optik wie bei Fig. 50. 62 : 1.

Tafel 5.

Bau der hellen Schicht bei *Pinna* und *Meleagrina* und der Schalenbandwallsubstanz bei *Mytilus.*

Fig. 52. *Pinna nobilis.* Flächenansicht der hellen Schicht. Zackige Grenzen der Feldchen. Balsam. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 8. 125 : 1.

Fig. 53. *Pinna nobilis.* Grenzgebiet von heller Schicht (links) und Perlmutter (rechts) in Flächenansicht. Lufttrocken. Optik wie bei Fig. 52. 125 : 1.

Fig. 54. *Pinna inflata.* Flächenansicht der hellen Schicht. Die Feldchen als Aggregate von Aragonitkristallen kenntlich. Balsam. Zeiss Apochromat 4 mm und Komp.-Ok. 8. 500 : 1.

Fig. 55. *Pinna nobilis.* Helle Schicht und darunter gelegener Teil der Perlmutter quer. Säuliger Aufbau der hellen Schicht; in der Perlmutter Vertikalschichtung. Balsam. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 8. 125 : 1.

Fig. 56. *Pinna nobilis.* Säule der hellen Schicht durch Kalilauge isoliert. Balsam. Zeiss Apochromat 4 mm und Komp.-Ok. 8. 500 : 1.

Fig. 57. *Pinna nobilis.* Helle Schicht mit Ameisensäure geätzt: strich-, spindel- und rautenförmige, zum Teil geknickte Ätzfiguren, deren Längsdurchmesser mit der Brachydiagonale zu-

sammenfällt; wechselnde Stellung derselben auf den gleichen und benachbarten Feldern. Lufttrocken. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 18. 330 : 1.

Fig. 58. *Pinna nobilis.* Helle Schicht mit Ameisensäure behandelt. Strichförmige Ätzfiguren in Richtung der Brachydiagonale; annähernde Parallelstellung auf den gleichen und auf benachbarten Feldern. Lufttrocken. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 18. 280 : 1.

Fig. 59. *Meleagrina margaritifera.* Flächenansicht der hellen Schicht von unten her: helle und dunkle Felder. Balsam. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 8. 250 : 1.

Fig. 60. *Meleagrina margaritifera.* Querschliff der hellen Schicht. Säulenbau, auskeilende Säulen, kegelförmige Anordnung der Säulen. Balsam. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 8. 125 : 1.

Fig. 61. *Meleagrina margaritifera.* Kegelförmiges Säulenbündel der hellen Schicht durch Kalilauge isoliert. Balsam. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 8. 250 : 1.

Fig. 62. *Meleagrina margaritifera.* Feine Säulen aus der hellen Schicht mittels Kalilauge isoliert: stengelige Aragonitkristalle. Zeiss Apochromat 4 mm und Komp.-Ok. 8. 500 : 1.

Fig. 63. *Mytilus smaragdinus.* Querschliff durch die Schalenbandwallsubstanz. Horizontale Wachstumsstreifung, vertikale Streifung = nadelige Struktur, einzelne Kanälchen infolge Lufterfüllung streckenweise sichtbar. Balsam. Zeiss Apochromat 16 mm und Komp.-Ok. 8. 125 : 1.

Fig. 64. *Mytilus edulis.* Aus einem Flachschliff durch die Schalenbandwallsubstanz: nadelige Bauelemente. Balsam. Optik wie bei Fig. 63. 125 : 1.

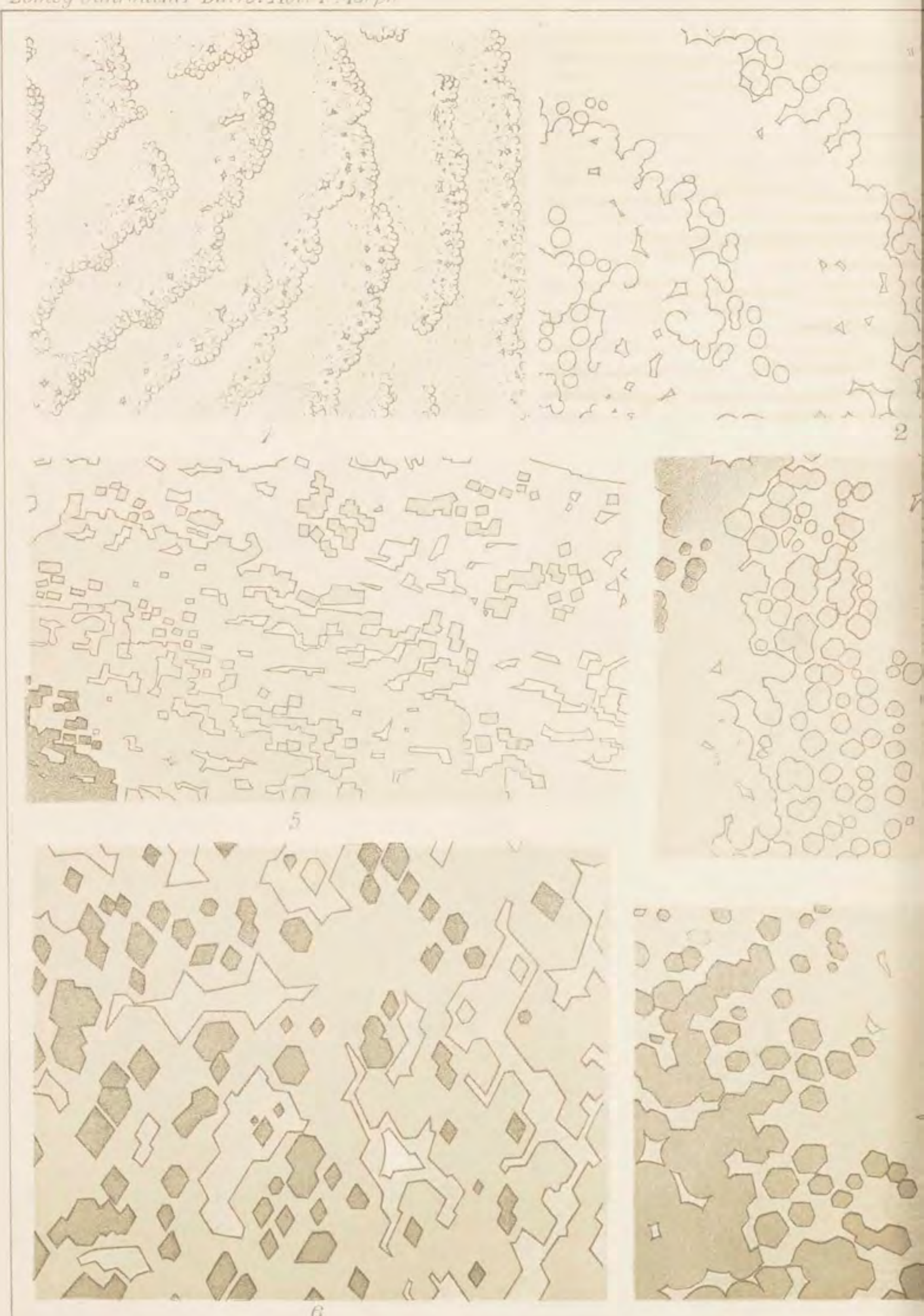
Fig. 65. *Mytilus edulis.* Flächenansicht der Schalenbandwallsubstanz, etwas geätzt. Felderung. Optik wie bei Fig. 63. 125 : 1.

Fig. 66. *Mytilus edulis.* Aus einem Flachschliff durch die Schalenbandwallsubstanz. Kristallgestalt der Feldchen. Balsam. Zeiss Apochromat 2 mm N. A. 1,30 und Komp.-Ok. 8. 1000 : 1.

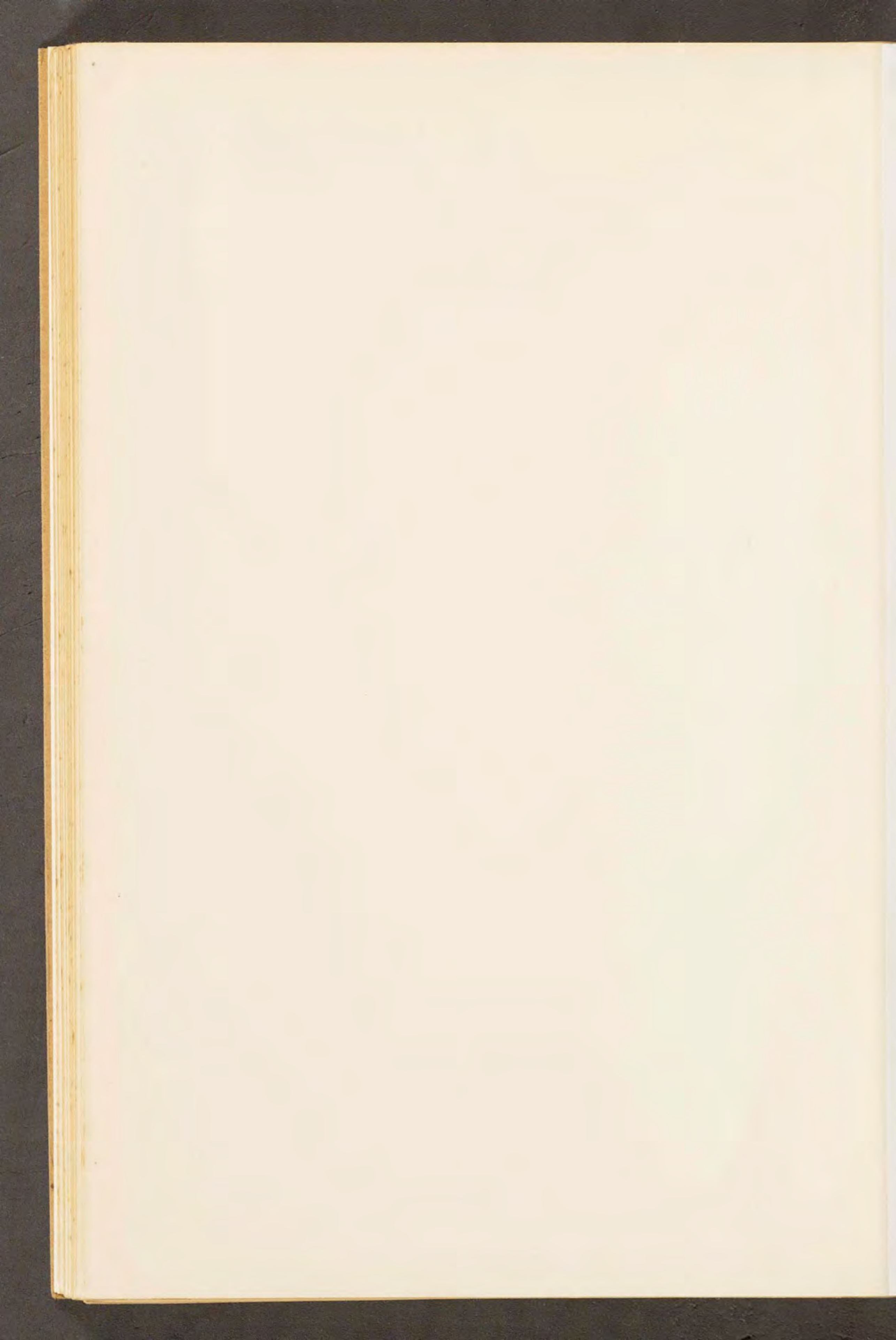
Fig. 67. *Mytilus edulis.* Aus einem Flachschliff durch die Schalenbandwallsubstanz. Sphärokristallinische Bildungen am Rande einer Grube. Balsam. Zeiss Apochromat 8 mm und Komp.-Ok. 8. 250 : 1.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.

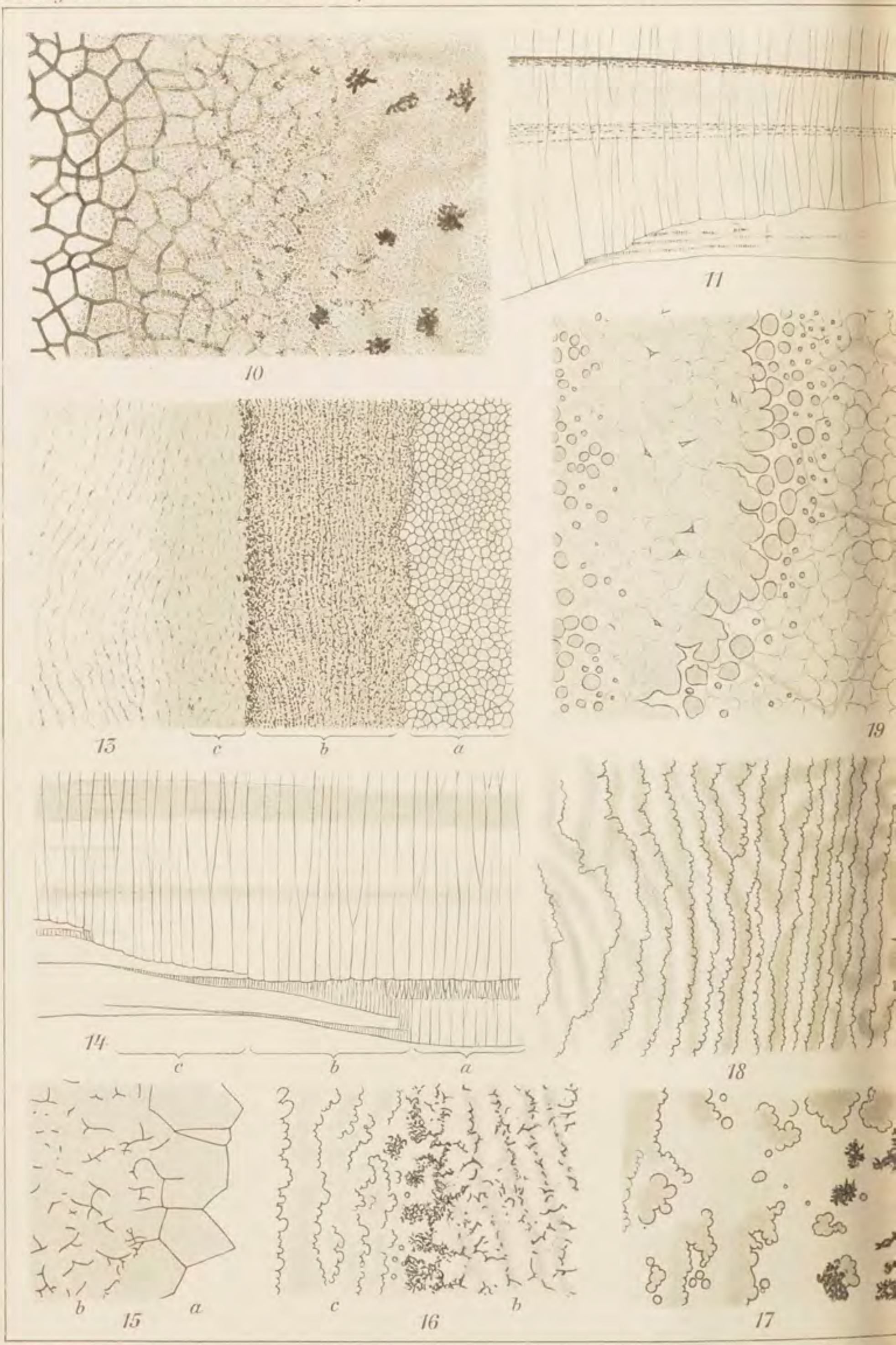


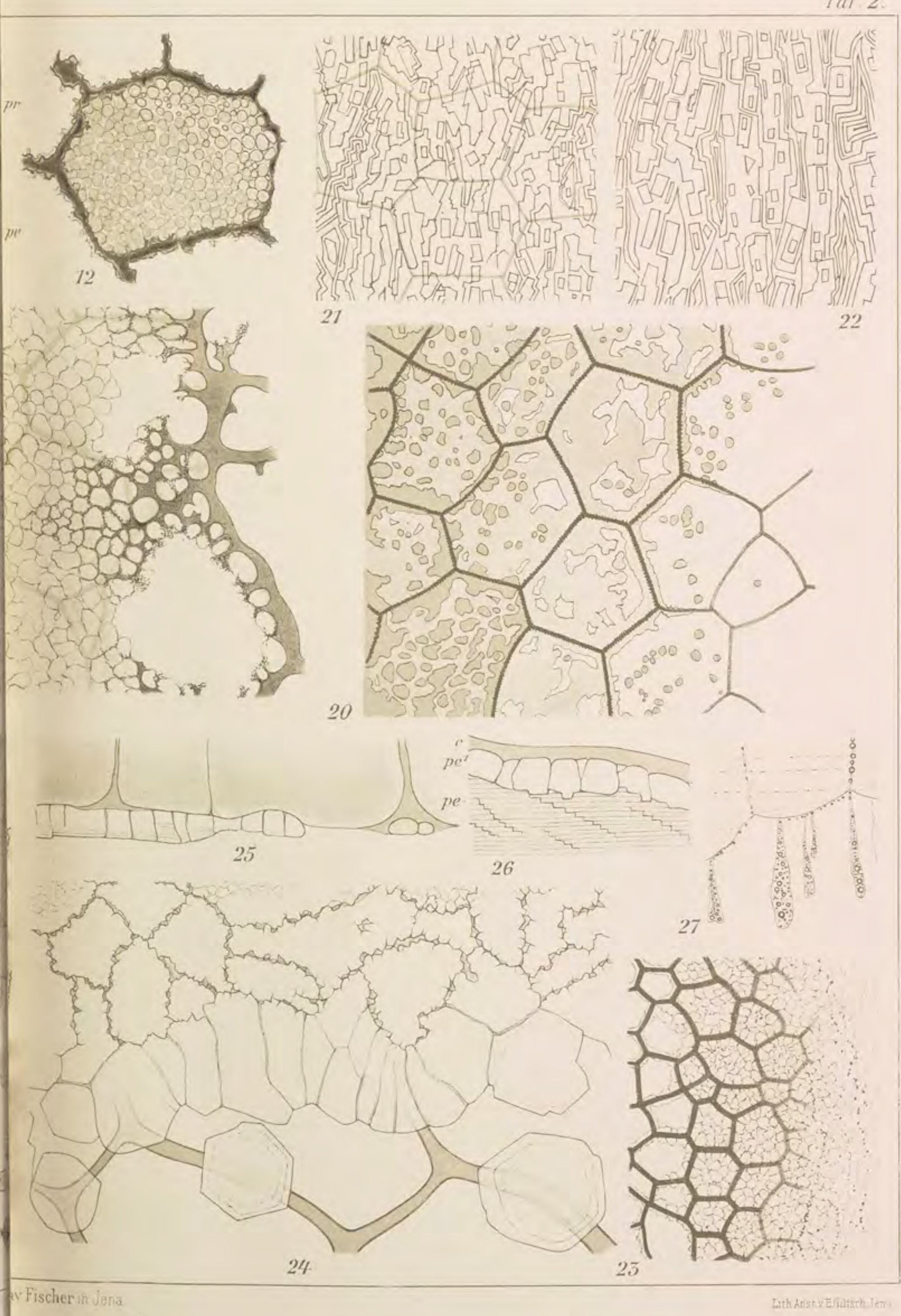

1
2
5
6


3
9
8



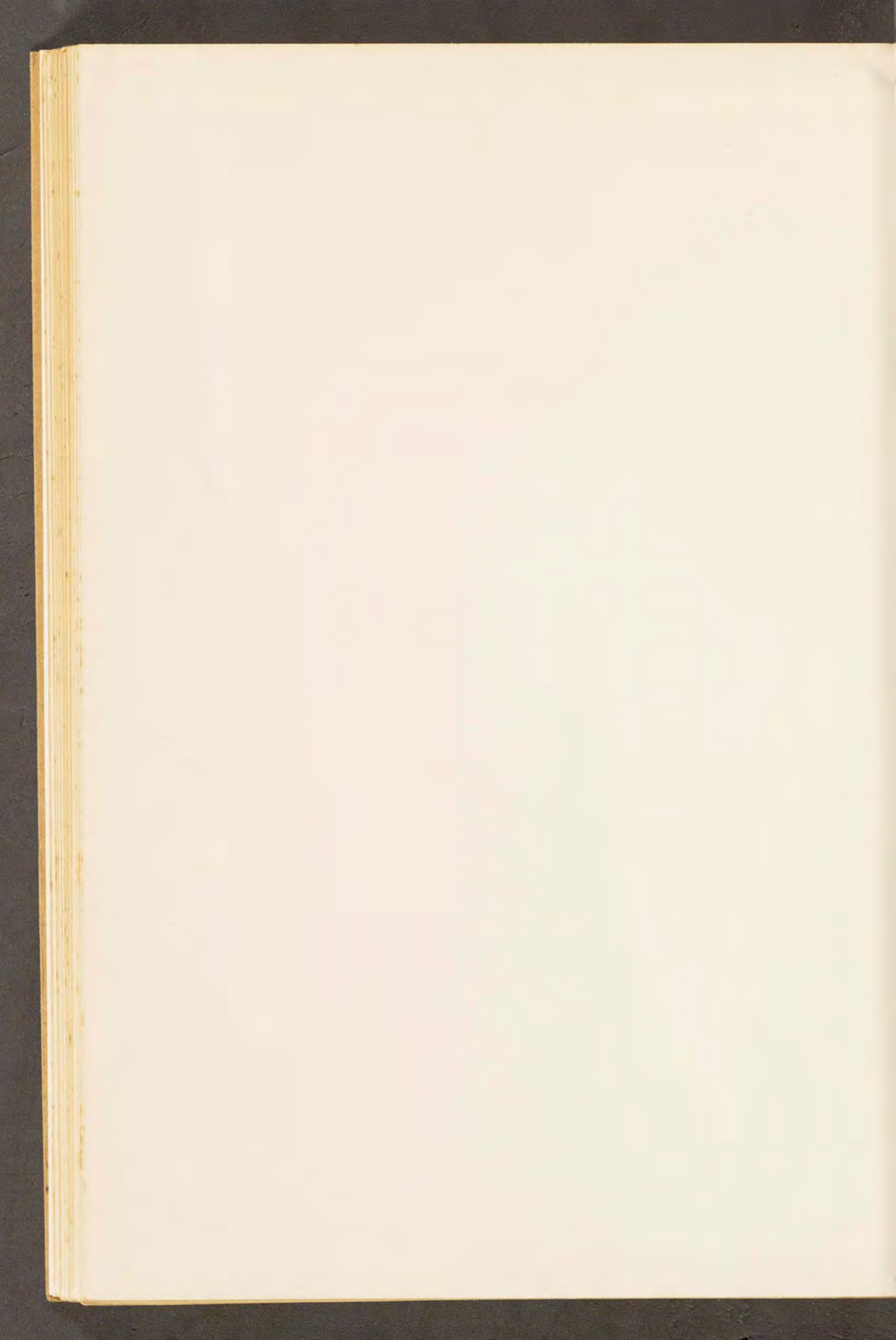



10
11
13
c
b
a
19
14
c
b
a
18
b
15
a
c
16
b
17

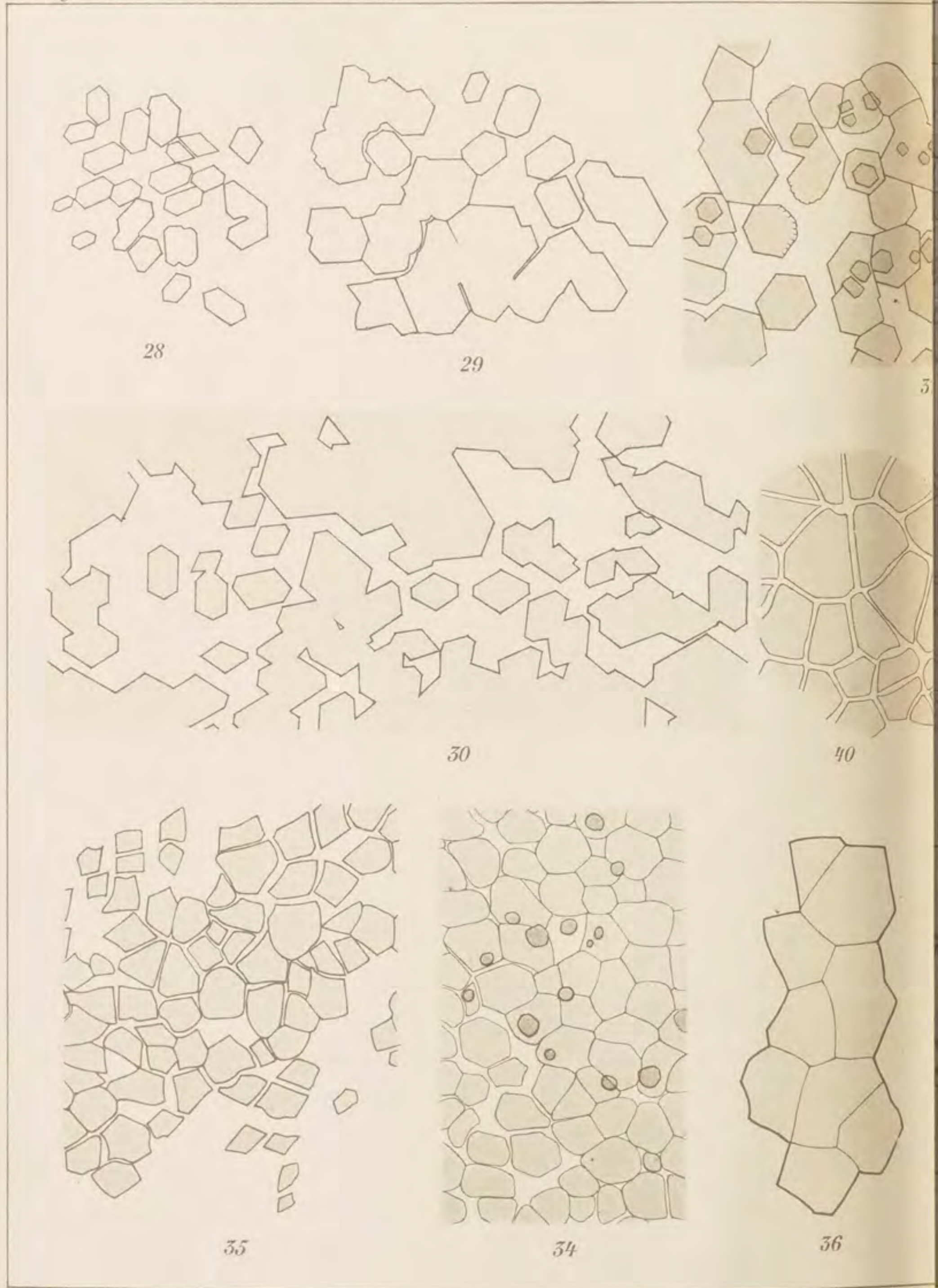


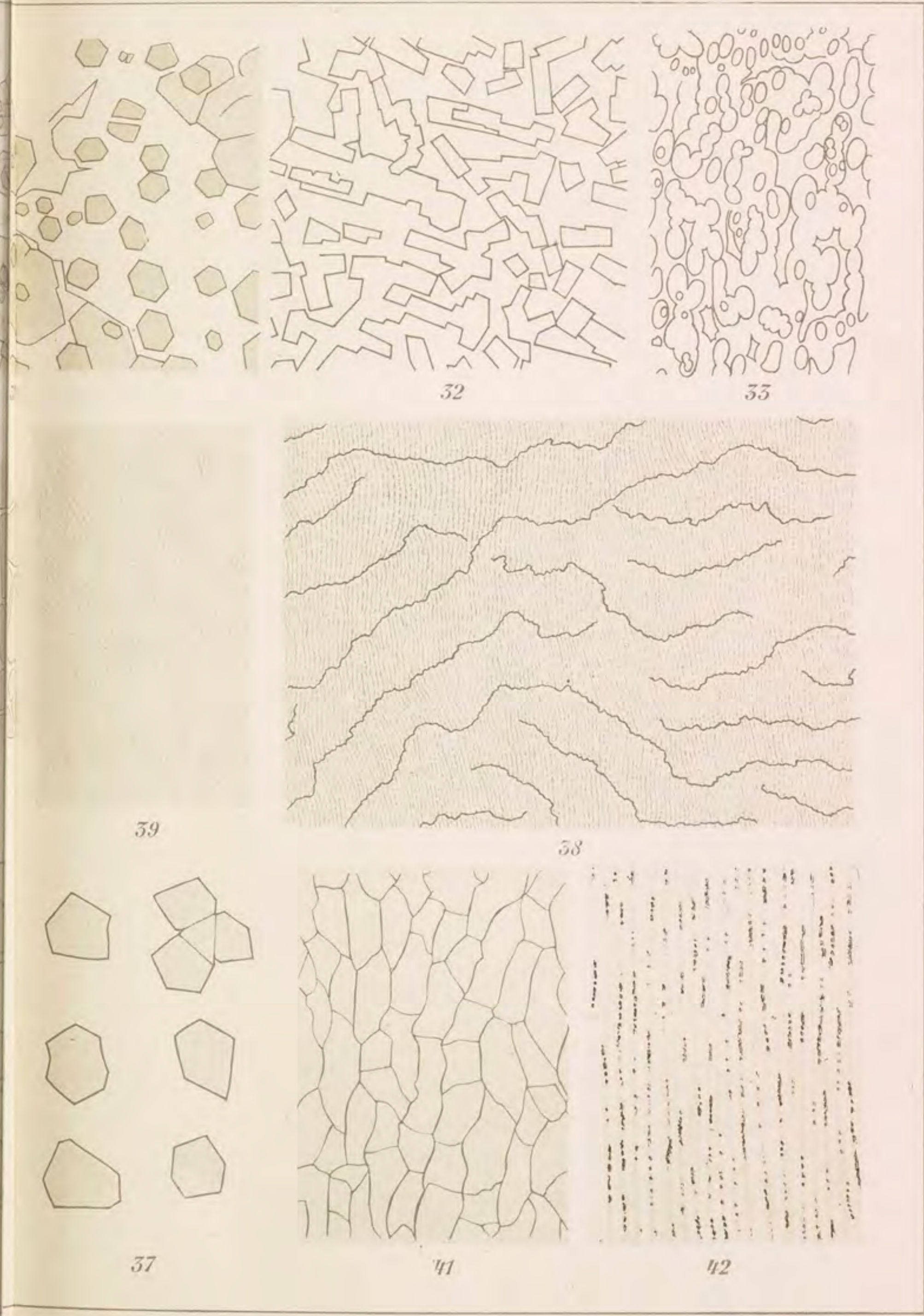
v Fischer in Jena

Lith Anst v E Giltsch, Jena



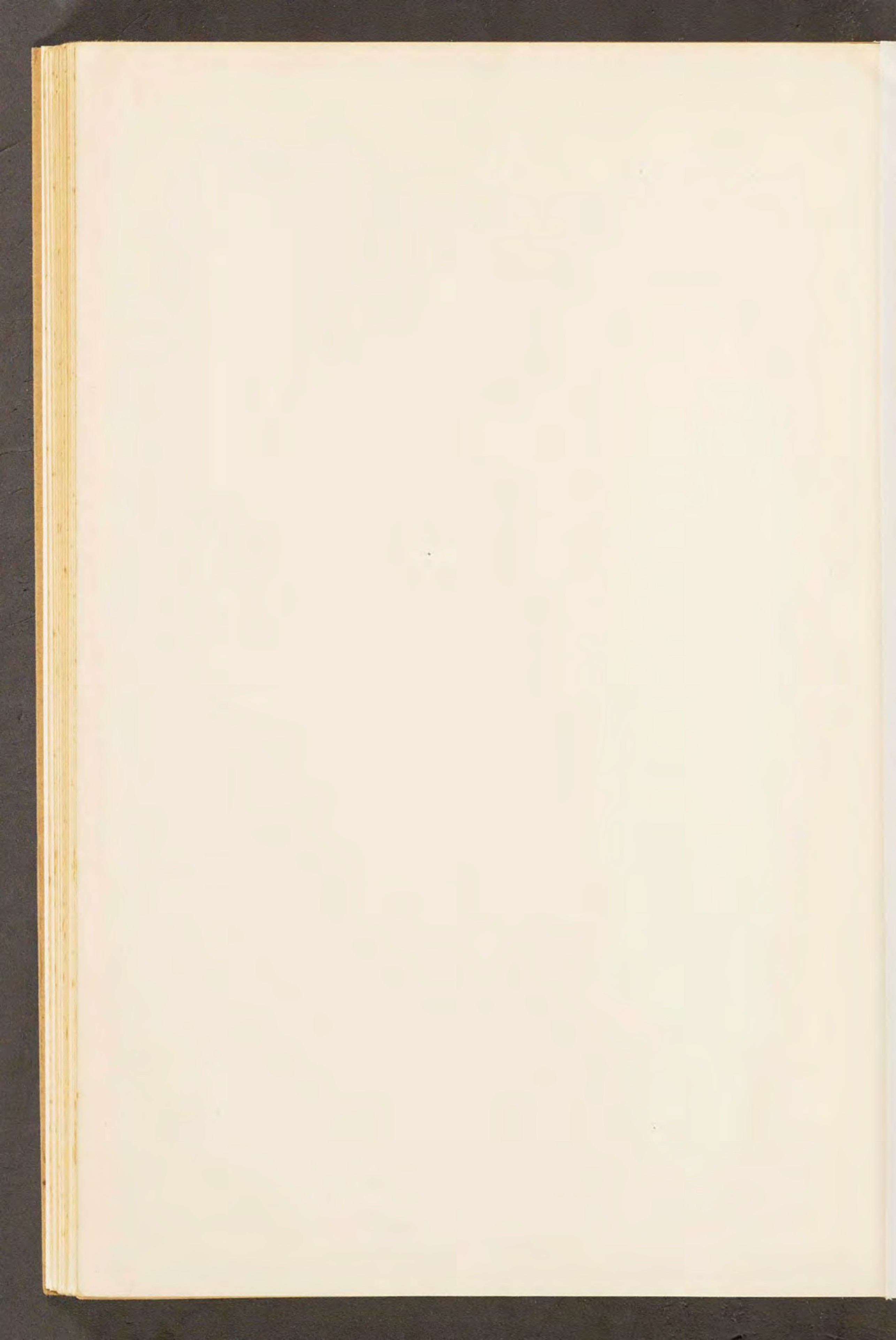



28
29
30
40
35
34
36

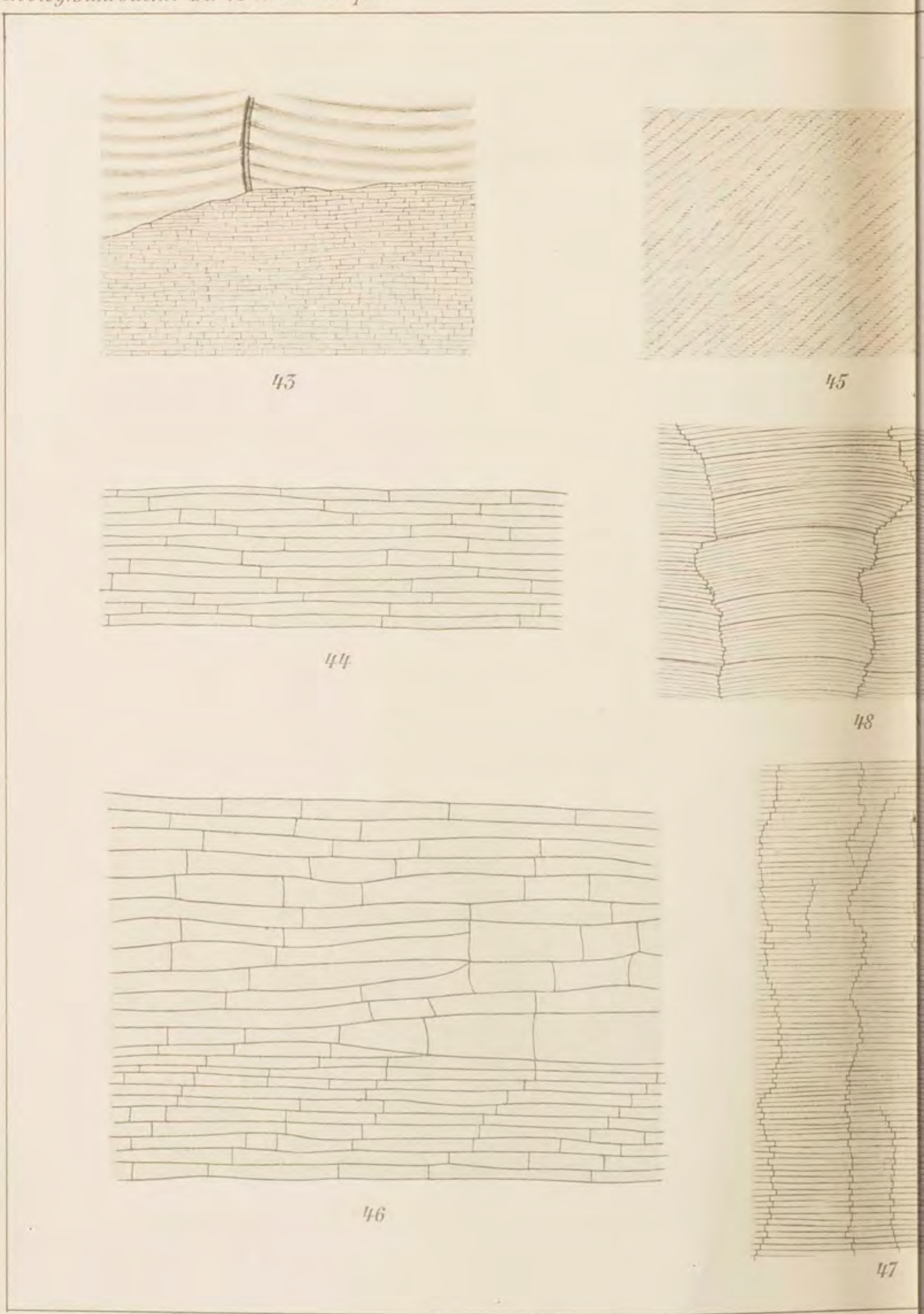


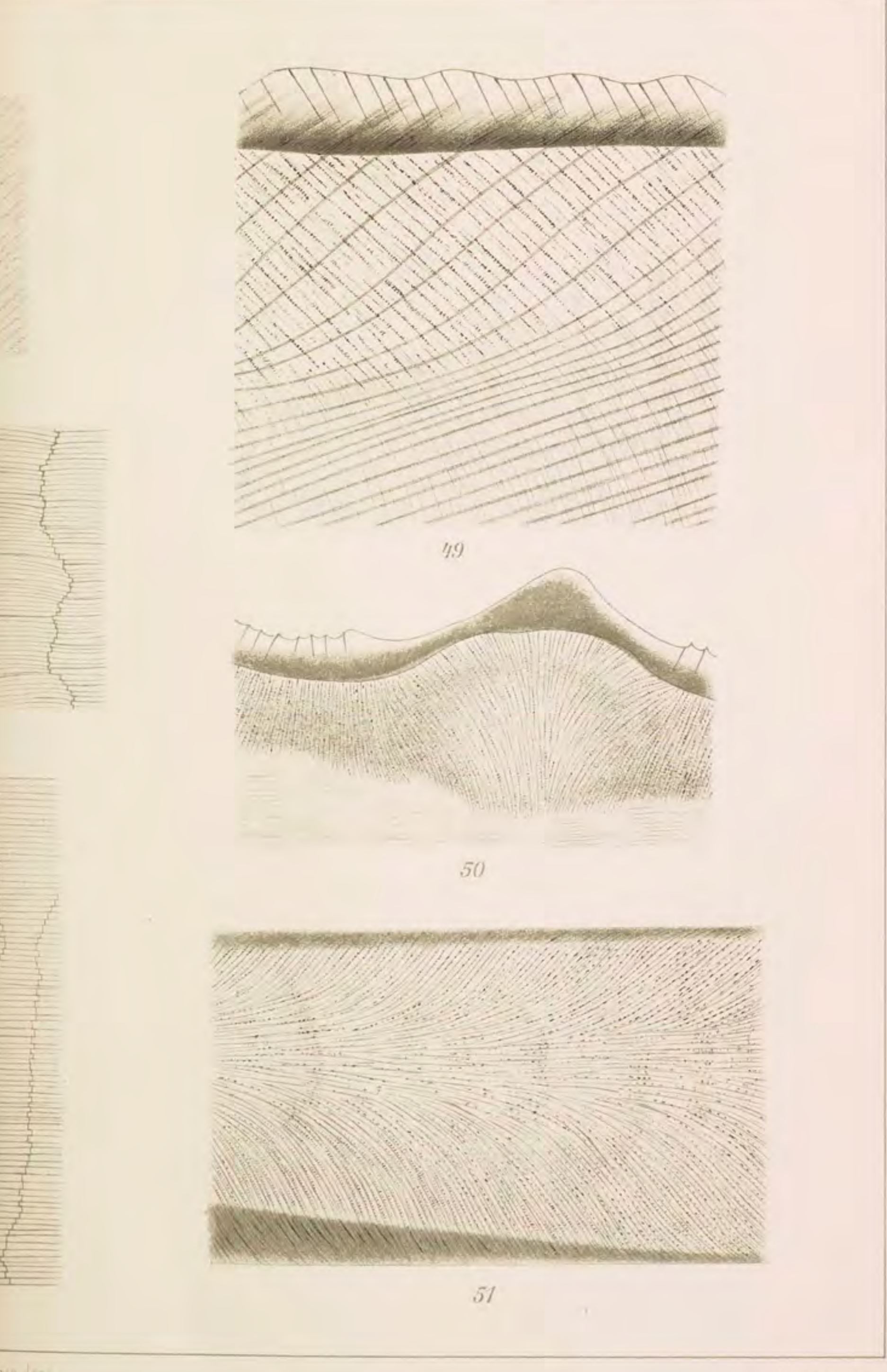
Fischer in Jena.

Lith Anst. v E Giltsch, Jena.






43
45
44
48
46
47



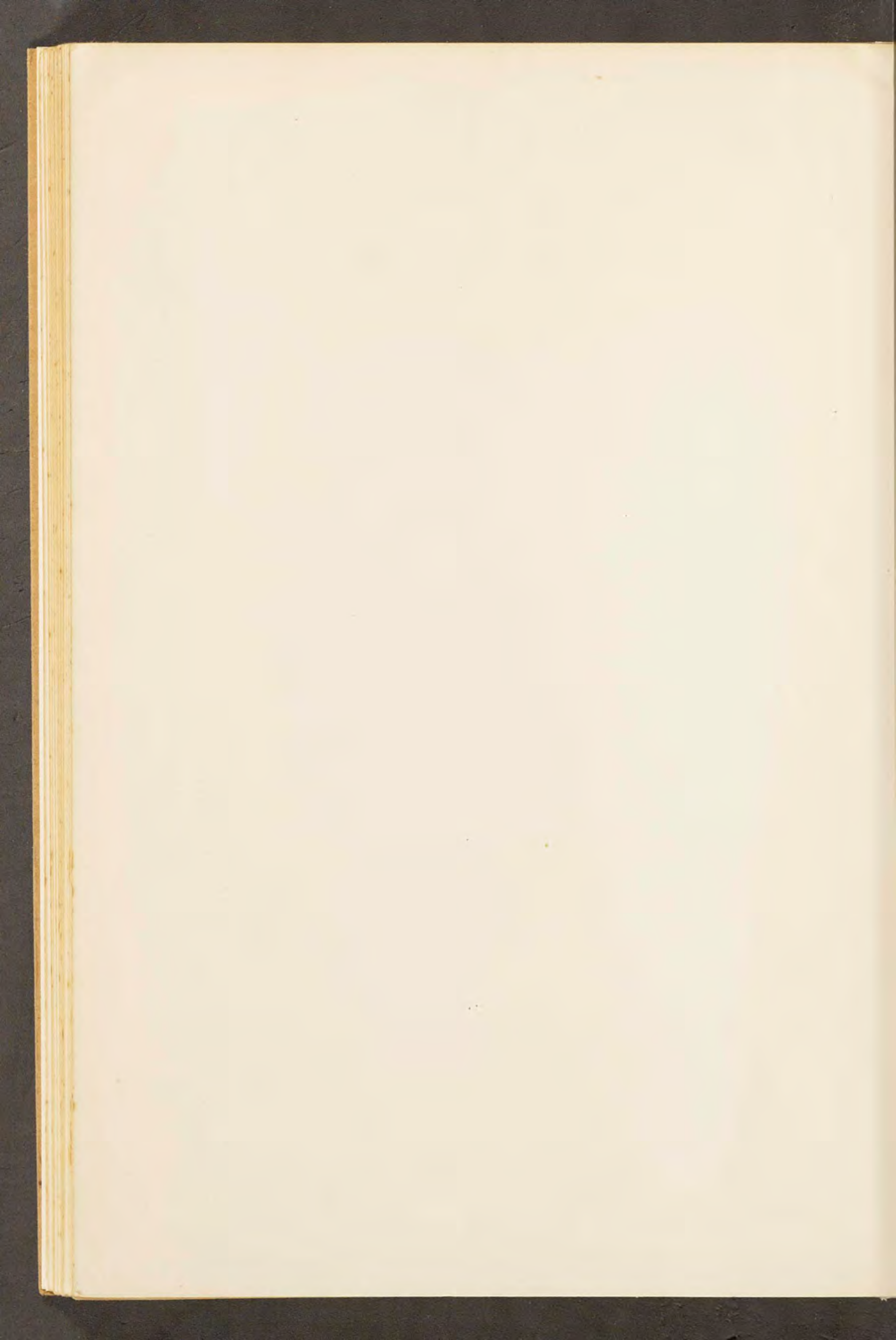
49

50

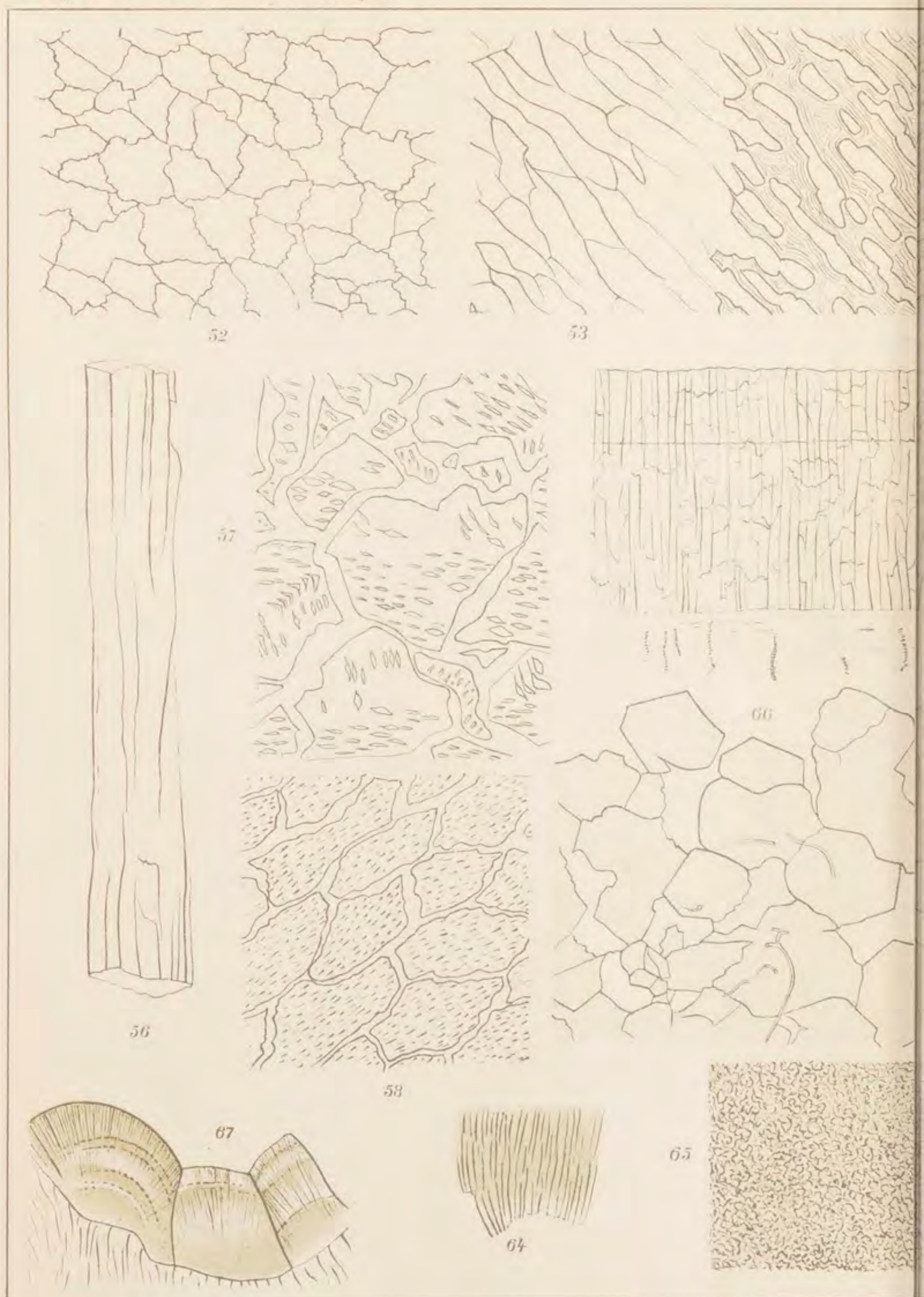
51

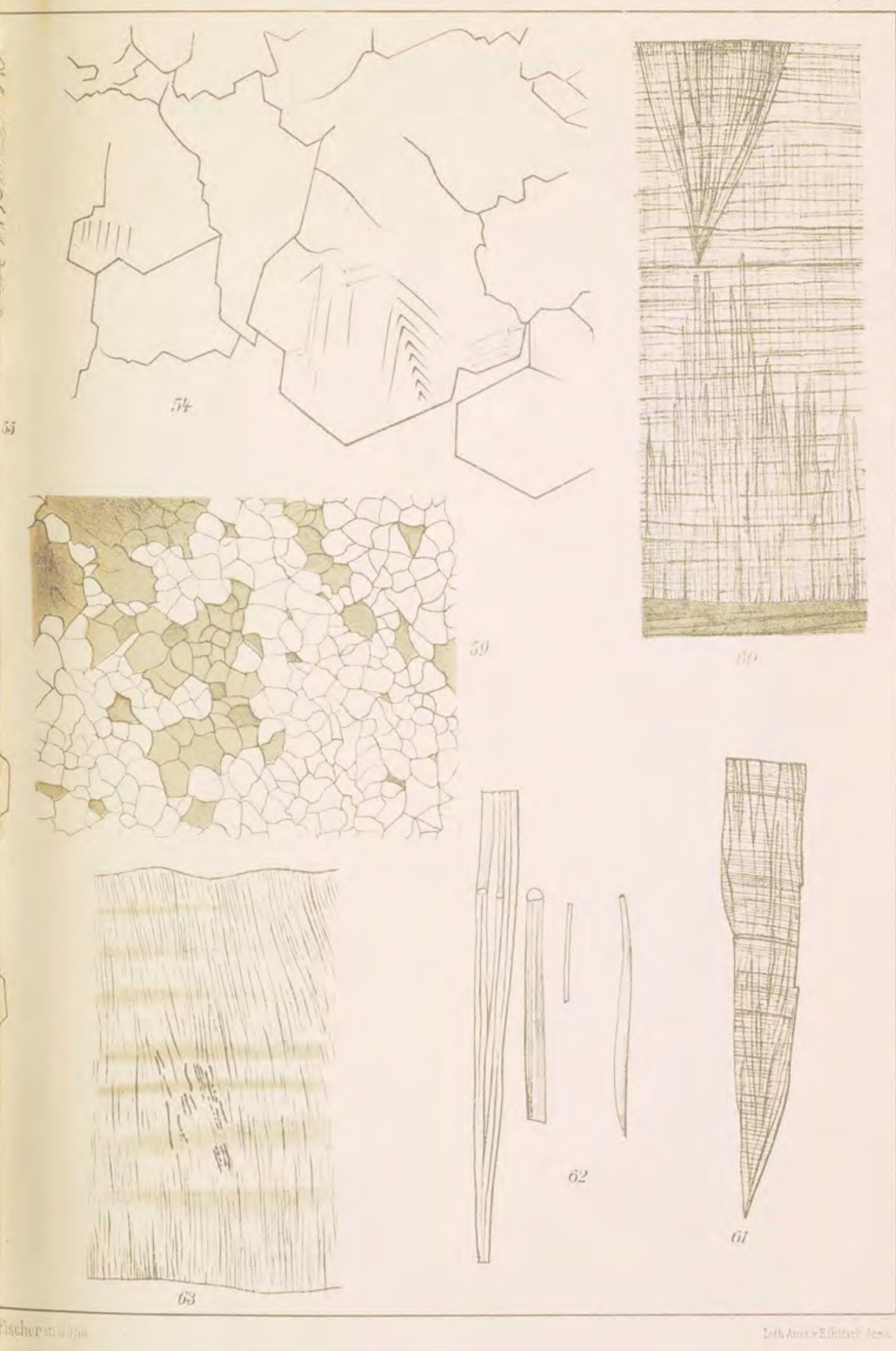
Fischer in Jena

Lith Anst v E Giltsch, Jena






52
53
56
57
58
66
67
64
65



Fischer in Jena
Lith Anst. v. E. Giltsch, Jena.







